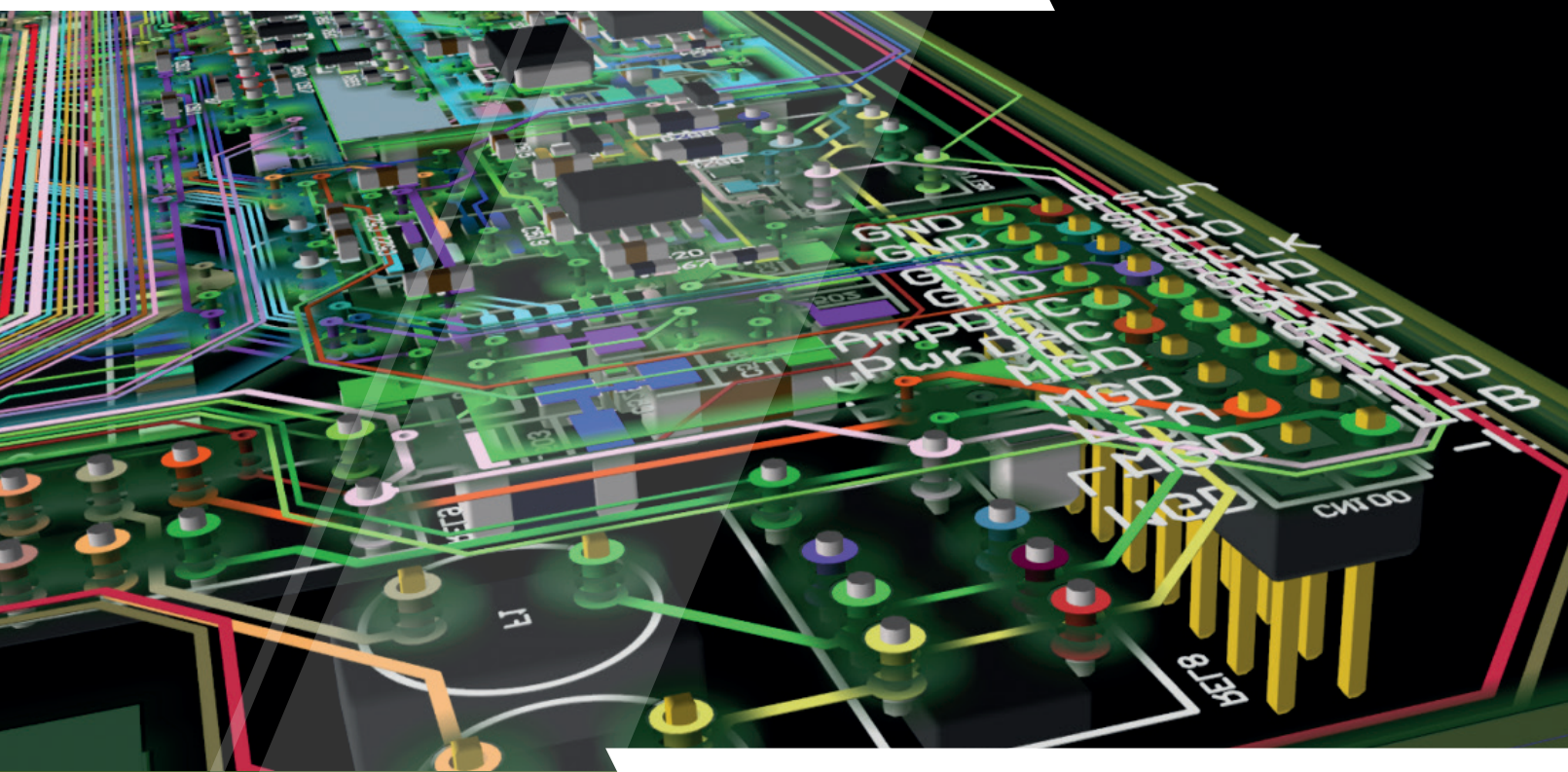


3 (15) | РАДИОЭЛЕКТРОННАЯ ОТРАСЛЬ: 2024 | ПРОБЛЕМЫ И ИХ РЕШЕНИЯ



НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКИЙ ЖУРНАЛ

**ЦИФРОВЫЕ ТЕХНОЛОГИИ
РАЗРАБОТКА, ПРОИЗВОДСТВО, ИСПЫТАНИЯ
КАЧЕСТВО И НАДЁЖНОСТЬ
ИНФОРМАЦИЯ**





ВНИИР

ВСЕРОССИЙСКИЙ НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ
ИНСТИТУТ РАДИОЭЛЕКТРОНИКИ

Главная научно-исследовательская
испытательная организация
Минпромторга России в области ЭКБ,
научного обеспечения и межведомственной
методической координации работ по
созданию и проведению исследований
(испытаний) изделий ЭКБ

БОЛЕЕ

400

ЭКЗЕМПЛЯРОВ
ПЕРЕЧНЯ ЭКБ
ИЗГОТАВЛИВАЮТСЯ И
РАСПРОСТРАНЯЮТСЯ
ЕЖЕГОДНО

В ФГБУ «ВНИИР» введена в эксплуатацию обновлённая **отраслевая** **торгово-информационная площадка «ЭКБ-Маркет»**. Площадка является наиболее актуальным и достоверным источником информации по наличию изделий ЭКБ отечественного производства и включает удобные сервисы по поиску, сравнению, подбору и онлайн заказу ЭКБ ОП.

Статус института в качестве **головной научно-исследовательской испытательной организации в области ЭКБ** был определён Приказом Министра Минпромторга России № 3731 от 20.10.2016 г. и подтверждён в отношении ФГБУ «ВНИИР» Приказом Министра Минпромторга России № 829 от 16.03.2022 г.

Цели деятельности института предусматривают проведение исследований, конструкторско-технологических разработок и испытаний опытных образцов, работы по повышению надёжности электронной компонентной базы и созданию научно-технического задела в сфере РЭА и ЭКБ.

110

ЕДИНИЦ СРЕДСТВ
ИЗМЕРЕНИЙ

Сегодня на институт Минпромторгом России возлагается задача – **СТАТЬ ЦЕНТРОМ КОМПЕТЕНЦИИ В РАДИОЭЛЕКТРОННОЙ ОТРАСЛИ**

Институту предстоит сформировать новый технологический облик российской электроники, провести исследование кооперационных связей и оценить потенциал отраслевых предприятий, увязав эту работу с вопросом кадрового обеспечения производителей.

56

ЕДИНИЦ
ИСПЫТАТЕЛЬНОГО
ОБОРУДОВАНИЯ

Формирование ФГБУ «ВНИИР» как **ЦЕНТРА КОМПЕТЕНЦИИ ЭЛЕКТРОННОЙ ОТРАСЛИ**, предусматривает продолжение исследований в области развития изделий ЭКБ, реализацию стратегических и тактических задач, охватывающих следующие обобщённые направления исследований в области радиоэлектроники:

- мониторинг и развитие отрасли;
- сертификация и испытания;
- интеграция технологий и производств;
- техническое регулирование;
- экспертиза (субсидии, параметры, проекты);
- нормотворчество;
- межотраслевое взаимодействие;
- кадры и образование;
- информационное обеспечение;
- использование РИД и патенты;
- меры поддержки производителей.

ПРИГЛАШАЕМ К СОТРУДНИЧЕСТВУ!



141002, Московская область, г.о. Мытищи, г. Мытищи,
ул. Колпакова, д. 2А
+7 (495) 586-17-21 доб. 1434, 1404; e-mail: vniir@vniir-m.ru,
сайт: vniir-m.ru

РО Пир 3(15)/2024 (Основан в 2021 году)

Зарегистрирован в федеральной службе по надзору в сфере связи, информационных технологий и массовых коммуникаций. Свидетельство о регистрации ПИ № ФС77-80418 от 09 февраля 2021 г. и перерегистрации ПИ № ФС77-83479 от 15 июня 2022 г.

Научно-технический журнал решением Президиума ВАК включен в «Перечень рецензируемых научных изданий, в которых должны быть опубликованы основные научные результаты диссертаций на соискание ученой степени кандидата наук, на соискание ученой степени доктора наук» («Перечень ...» от 08.07.2024 года).

Статьи журнала размещаются на сайте журнала, сайте РНЖ, сайте научной электронной библиотеки и включаются в национальную информационно-аналитическую систему РИНЦ.

РЕДАКЦИОННЫЙ СОВЕТ

- В.В. Шпак**, кандидат экономических наук
- Г.Я. Красников**, Президент РАН
- И.С. Иванов**, генеральный директор ФГБУ «ВНИИР»
- С.И. Боков**, доктор экономических наук
- А.В. Брыкин**, доктор экономических наук
- В.Л. Гладышевский**, доктор экономических наук
- Н.В. Завьялов**, член-корреспондент РАН
- В.М. Исаев**, доктор технических наук
- Е.Г. Комаров**, доктор технических наук
- А.С. Сигов**, академик РАН
- В.Б. Стешенко**, кандидат технических наук
- А.А. Рахманов**, доктор технических наук
- В.А. Телец**, доктор технических наук
- А.В. Трусов**, доктор технических наук

ГЛАВНЫЙ РЕДАКТОР:

О.Ю. Булгаков, заслуженный работник связи Российской Федерации, кандидат военных наук

Заместители главного редактора:

- С.Б. Подъяпольский**, кандидат технических наук
- С.С. Милосердов**, кандидат технических наук

РЕДАКЦИОННАЯ КОЛЛЕГИЯ:

- А.С. Афанасьев**, кандидат технических наук
- В.В. Быканов**, кандидат технических наук
- З.М. Гальперина**, доктор экономических наук
- П.С. Желтухин**, доктор технических наук
- И.Н. Кабанов**, доктор технических наук
- Р.Г. Левин**, кандидат физико-математических наук
- Д.А. Руденко**, кандидат военных наук
- Ю.В. Рубцов**, генеральный директор АО «ЦКБ «Дейтон»
- Т.Н. Серазетдинов**, ген. директор АО «Авиаприбор»
- В.А. Трусов**, доктор технических наук
- Л.А. Фёдорова**, академик Академии проблем качества
- В.Н. Храменков**, доктор технических наук

РЕДАКЦИЯ:

- В.А. Сахаров**, ответственный редактор
- В.В. Малышева**, графический дизайнер
- Ю.А. Зайцева**, редактор-корректор
- О.Е. Николаева**, редактор-корректор

Адрес редакции: Колпакова ул., д. 2а, г. Мытищи, г.о. Мытищи, Московская обл., Россия, 141002
Тел/факс: +7 (495) 586–17–21 / +7 (495)588–69–61

Отпечатано:

Юридический адрес: Колпакова ул., д. 2а, г. Мытищи, г.о. Мытищи, Московская обл., Россия, 141002
Тел/факс: +7 (495) 586–17–21 / +7 (495)588–69–61

Сдано в набор 05.09.2024 г.

Подписано к печати 15.09.2024 г.

Тираж 350 экз.

Редакция не несёт ответственности за содержание авторских материалов и достоверности сведений в рекламе.
Фотография на обложке – открытый источник сети Интернет.

Совместное учреждение и издание федерального государственного бюджетного учреждения «Всероссийский научно-исследовательский институт радиоэлектроники» (ФГБУ «ВНИИР») и автономной некоммерческой организации «Центр сертификации, обучения и консалтинга «Электронсертифика» (АНО «Электронсертифика»). Журнал выпускается при содействии Департамента радиоэлектронной промышленности Минпромторга России и Российского технологического университета – МИРЭА.

СОДЕРЖАНИЕ

Булгаков О.Ю. Научно-технический журнал «Радиоэлектронная отрасль: проблемы и их решения» включён в Перечень ВАК 2
О сайте научно-технического журнала «Радиоэлектронная отрасль: проблемы и их решения» 2

ЦИФРОВЫЕ ТЕХНОЛОГИИ

Иванов И.С. Анализ мировых технологических тенденций развития радиоэлектронной промышленности 3

Иванов И.С., Трусов А.В. Цифровая трансформация процессов информационной интеграции, информационного взаимодействия и информационной поддержки в систему научно-технологического развития отраслей радиоэлектронной промышленности 8

Боков С.И., Гриневиц С.Л., Пестун А.Г. Вопросы оценки интероперабельности сложных технических систем 13

РАЗРАБОТКА, ПРОИЗВОДСТВО, ИСПЫТАНИЯ

Торшин Р.С. Методика исследования аналого-цифровых преобразователей различных архитектур при воздействии ионизирующего излучения космического пространства 15

Денисов А.Н., Федоров Р.А. Серия микросхем защиты от возникновения тиристорного эффекта 21

КАЧЕСТВО И НАДЁЖНОСТЬ

Шведов А.В. Методика оценки и обоснования выбора поставщиков электронной компонентной базы 27

Синельников Ю.Г., Рыбаков А.К., Денисова А.С. Задание параметров условий окружающей среды для показателей безотказности корпусных полупроводниковых изделий 32

Дормидошина Д.А. Система управления надёжностью на стадиях жизненного цикла электронной компонентной базы 36

Подписка на научно-технический журнал на 2025 год 40

УВАЖАЕМЫЕ ЧИТАТЕЛИ НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКОГО ЖУРНАЛА, УВАЖАЕМЫЕ КОЛЛЕГИ ПО РАДИОЭЛЕКТРОННОЙ ОТРАСЛИ!!!



Рад сообщить Вам, что наш научно-технический журнал «РАДИОЭЛЕКТРОННАЯ ОТРАСЛЬ: ПРОБЛЕМЫ И ИХ РЕШЕНИЯ» (далее – журнал) решением Президиума Высшей Аттестационной Комиссии при Министерстве науки и высшего образования Российской Федерации включён в «**ПЕРЕЧЕНЬ** рецензируемых научных изданий, в которых должны быть опубликованы

основные научные результаты диссертаций на соискание ученой степени кандидата наук, на соискание ученой степени доктора наук» (по состоянию на 08.07.2024 года) (далее – Перечень).

Перечень размещён на сайте <https://www.interpauka.org/perechen-recenziruemyh-nauchnyh-izdaniy-vak-2019-2020>, что является фактическим подтверждением статуса нашего журнала. В Перечне информация о нашем журнале размещена на странице 963 под № п/п 2329.

Это, несомненно, результат деятельности всех членов редакционного совета и редакционной коллегии журнала с момента его регистрации в Федеральной службе по надзору в сфере связи, информационных технологий и массовых коммуникаций, и ориентирует в дальнейшем весь наш коллектив на повышение качества, полноты публикуемого материала, освещение широкого спектра достижений и проблем в радиоэлектронной отрасли, результатов и перспектив научно-технических исследований и развития радиоэлектроники.

Главный редактор, заместитель главного редактора и члены редакционной коллегии журнала благодарят генерального директора ФГБУ «ВНИИР» **Ивана Сергеевича Иванова** и директора АНО «Электронсертифика» **Сергея Ивановича Бокова** (учредителей журнала) за содействие в реализации поставленных целей и получении статуса журнала.

Поздравляю коллектив журнала с достигнутым результатом и желаю всем движения вперёд для получения новых знаний, развития нашей науки!

**С уважением, главный редактор журнала,
к.воен.н., заслуженный работник связи
Российской Федерации
Булгаков О.Ю.**

САЙТ НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКОГО ЖУРНАЛА «РАДИОЭЛЕКТРОННАЯ ОТРАСЛЬ: ПРОБЛЕМЫ И ИХ РЕШЕНИЯ»

В апреле запущена обновлённая версия сайта научно-технического журнала «РАДИОЭЛЕКТРОННАЯ ОТРАСЛЬ: ПРОБЛЕМЫ И ИХ РЕШЕНИЯ» <https://ropir.ru/>.

Сайт приведён в соответствие с Требованиями к рецензируемым научным изданиям для включения в перечень рецензируемых научных изданий, в которых должны быть опубликованы основные научные результаты диссертаций на соискание ученой степени кандидата наук, на соискание ученой степени доктора наук (Приложение № 2 к приказу Министерства науки и высшего образования Российской Федерации от «31» мая 2023 г. № 534).

На сайте размещена информация об учредителях научно-технического журнала, редакционном совете и редакционной коллегии, сведения о регистрации, РИНЦ, ISSN, обеспечены переходы на сайты организаций-учредителей научно-технического журнала.

В разделе «Для авторов» можно найти «Правила и требования к статьям» и «Порядок рецензирования статей», где изложена подробная информация о представлении авторами необходимого для публикации материала.

В разделе «Архив» читатель может ознакомиться со всеми вышедшими в печать номерами научно-техниче-

«РАДИОЭЛЕКТРОННАЯ ОТРАСЛЬ: ПРОБЛЕМЫ И ИХ РЕШЕНИЯ»

Главная О журнале Для авторов Архив Подписка Адрес редакции ФГБУ «ВНИИР» АНО «Электронсертифика»



Учредители научно-технического журнала Сведения о главном редакторе Редакционный совет и редакционная коллегия Свидетельство о регистрации, РИНЦ, ISSN



МИНПРОМТОРГ
РОССИИ

ВНИИР
Федеральное научно-исследовательское институт радиоэлектроники

ского журнала. Применив кнопку «Поиск», появляется возможность в поисковой строке набрать ключевое слово, по которому можно найти статьи, в которых они упоминаются, с дальнейшим их скачиванием для изучения.

Редакционная коллегия приглашает Вас посетить сайт научно-технического журнала «РАДИОЭЛЕКТРОННАЯ ОТРАСЛЬ: ПРОБЛЕМЫ И ИХ РЕШЕНИЯ» и применять его возможности для Вашей работы по подготовке и представлению научных статей для публикации.

ДОБРО ПОЖАЛОВАТЬ НА САЙТ <https://ropir.ru/>.

АНАЛИЗ МИРОВЫХ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ТЕНДЕНЦИЙ РАЗВИТИЯ РАДИОЭЛЕКТРОННОЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ

ANALYSIS OF WORLD TECHNOLOGICAL TRENDS IN THE DEVELOPMENT OF RADIO-ELECTRONICS INDUSTRY

Иванов И.С., генеральный директор ФГБУ «ВНИИР», +7 (495) 586-17-21, ivanov@vniir-m.ru

Ivanov I.S., General Director of FGBI "VNIIR", +7 (495) 586-17-21, ivanov@vniir-m.ru

Аннотация. На основе анализа проведения и реализации международных стартапов рассмотрены основные тенденции развития радиоэлектронной промышленности. Проведена классификация мировых тенденций развития технологий радиоэлектронной промышленности, определены тенденции совершенствования традиционных технологий и тенденции развития радиоэлектронной промышленности на основе информационных технологий.

Annotation. The approaches to the formation of a system of information integration, information interaction and information support for the processes of scientific and technological development (using the example of the radioelectronic industry) are considered. Special attention is paid to the formation of a variety of information circuits combined into a single information space, providing information integration and information support for management decision-making processes for the development of the radioelectronic industry in the context of digital transformation.

Ключевые слова: радиоэлектронная промышленность, тенденции развития, информационные технологии, стартапы.

Keywords: information resources, information support, scientific and technological development, information circuits, digital transformation.

Научная специальность: 2.3.8. «Информатика и информационные процессы».

Введение

Индустрия производства электроники за рубежом в последние годы претерпевает динамическое развитие, используются новейшие технологические достижения в процессах изготовления и проектировании компонентов. Основные тенденции электронной промышленности включают использование современных материалов, органическую электронику и миниатюризацию. Кроме того, прорывные технологии, такие, как искусственный интеллект и интернет вещей, позволяют применять интеллектуальные методы производства и являться драйверами роста отрасли. Существует множество способов определения приоритетных направлений (тенденций), которые позволяют в той или иной степени прогнозировать развитие радиоэлектронной промышленности. Одним из способов, на основании которого можно формировать прогнозы развития, является оценка программ международных стартапов, которые показывают наиболее важные и перспективные направления (тенденции) развития мировой радиоэлектроники.

Основная часть

Классификация мировых тенденции развития технологий РЭП на основе анализа международных стартапов

В настоящее время международные стартапы и развивающиеся компании (находящиеся в стадии масштабирования) разрабатывают инновации в области проектирования и производства электронных компонентов для обеспечения высокой эффективности и совместимости. Новые технологии (в частности, 3D-печать) позволяют отрасли также становиться более динамичной и экономически эффективной. Для процесса производства радио-



Иванов И.С.

электронной продукции требуются современные материалы, поскольку обычные полупроводниковые материалы не способны обеспечить миниатюризацию и устойчивость электронной компонентной базы. В свою очередь органическая электроника решает глобальные проблемы устойчивого развития и экологически чистого производства. Для развития радиоэлектронной промышленности (далее – РЭП) широко используется искусственный интеллект и интернет вещей, в том числе в процессах проектирования и производства. Совершенствуется упаковка схем, что позволяет уменьшить размер микросхем и интегрировать в них большее количество функций, создаются новые си-

стемные архитектуры и проекты. Набирают обороты технологии, позволяющие создавать печатную электронику, в частности 3D-печать привлекает гораздо больше внимания благодаря децентрализованному производству и возможностям быстрого прототипирования.

Как показывает исследование *StartUs Insights* [1], охватывающее около 1,1 тысячи стартапов и развивающихся компаний по всему миру, предлагаемые инновации в радиоэлектронной промышленности позиционирует 10 основных мировых трендов развития технологий (рис. 1).

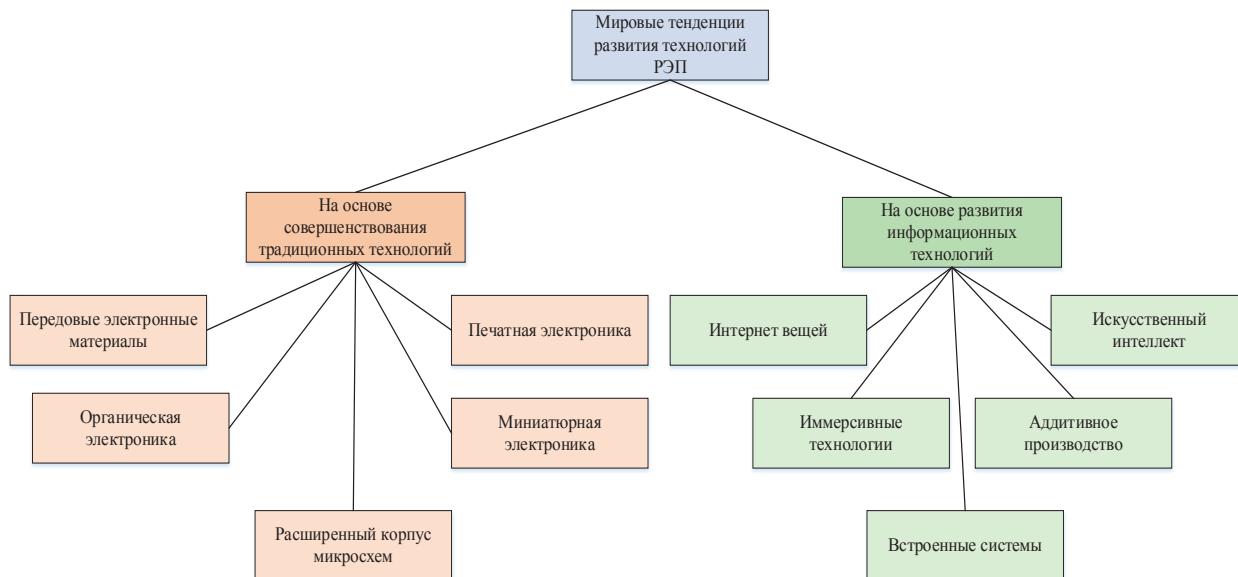


Рис. 1. Классификация мировых тенденции развития технологий РЭП на основе анализа международных стартапов

Анализ реализации стартапов показывает, что тенденции развития технологий в РЭП можно классифицировать на два основных вида:

Первый – тенденции совершенствования традиционных технологий.

Второй – тенденции на основе развития информационных технологий.

Тенденции совершенствования традиционных технологий в РЭП направлены на:

- передовые электронные материалы;
- органическую электронику;
- печатную электронику;
- расширенный корпус микросхем;
- миниатюрную электронику.

Тенденции развития РЭП на основе информационных технологий включают:

- искусственный интеллект;
- интернет вещей;
- встроенные системы;
- аддитивное производство;
- иммерсивные технологии.

Тенденции совершенствования традиционных технологий в РЭП

Полупроводниковая промышленность уже продолжительное время зависит от кремния, однако в настоящее время обнаруживается предел использования кремниевого материала в РЭП. На современном этапе инновации, направленные на разработку передовых электронных материалов (далее – ПЭМ) повышающие производительность интегральных схем, происходят за счет ис-

пользования новых материалов и архитектур. Стартапы и развивающиеся компании разрабатывают альтернативы кремнию, а также другим полупроводниковым материалам или композитам, таким как графен и наноматериалы, в целях обеспечения высокой производительности и эффективности.

В качестве примера разработки ПЭМ можно привести компанию *Odyssey Semiconductor* [2] – американский стартап, который создает высокоэффективный полупроводниковый материал на основе нитрида галлия (*GaN*) с переключателем мощности. Технология обработки *GaN* позволяет создавать *GaN*-устройства с вертикальной проводимостью тока, которые расширяют рабочее напряжение с 1000 В до более 10 000 В. Он выходит далеко за рамки применения бытовой электроники и охватывает такие приложения, как электромобили (*EV*), управление промышленными двигателями и приложения для энергетических сетей. Другим примером выбранного направления развития может служить компания *SixLine Semiconductor* [3] – американский стартап, занимающийся разработкой углеродных нанотрубок. Стартап производит углеродные нанотрубки полупроводникового качества, которые позволяют наносить их на любую подложку при комнатной температуре. Разработанная технология отличается высокой плотностью упаковки, точным выравниванием, высокопроизводительной обработкой и селективным осаждением. Решения стартапа позволяют производителям электроники массово производить высокопроизводительные транзисторные каналы и находят применение в производстве беспроводных, вычислительных и сенсорных компонентов.

Рост популярности устойчивого развития побужда-

ет производителей делать выбор в пользу органической электроники (далее – ОЭ). Проектирование схем с использованием микробных компонентов или производство устройств из биоразлагаемых и перерабатываемых материалов рассматривается как следующая тенденция в производстве электроники. Применение органических материалов для производства электронных устройств также позволяет производителям электроники использовать более безопасное и доступное сырье, сокращая количество его использования. Это создает новые возможности для бизнеса компаний и конкурентное преимущество в долгосрочной перспективе.

Японский стартап *Flask* в рамках реализации ОЭ разрабатывает материалы для применения в различных продуктах, таких как органические дисплеи, освещение и солнечные элементы (представляют собой материалы, используемые для переноса и инъекции электронов, светолучающие материалы, материалы покрытия и материалы органических солнечных элементов). Использование этих материалов позволяет производителям устройств удовлетворять такие требования клиентов, как высокая эффективность, низкое энергопотребление, высокая надежность и адаптация к материалам нового поколения. Еще одним примером ОЭ является компания *Koala Tech* [4] – японский стартап, сфокусированный на разработке органических полупроводниковых лазерных диодов. Технология лазерных диодов стартапа основана на органических флуоресцентных полупроводниках, которые, как правило, легче, менее вредны и быстрее перерабатываются в тонкие пленки. Это позволяет производителям использовать недорогой источник света, который легко интегрируется в *OLED* и органические электронные платформы.

Встроенные системы (далее – ВС) в настоящее время являются важной частью любого электронного устройства и играют решающую роль в определении скорости, безопасности, размера и мощности устройств.

В секторе проектирования и производства таких систем внедряются многочисленные инновации, направленные на повышение производительности, безопасности и возможностей подключения. ВС позволяют совершенствовать процессы управления и мониторинга оборудования.

Ярким представителем компаний, занимающейся развитием ВС, является *Dover Microsystems* [5] – американский стартап, предлагающий решения для защиты устройств от сетевых атак на уровне процессора. Аппаратная технология стартапа защищает хост-процессор, отслеживая и проверяя каждую выполняемую инструкцию на основе набора правил безопасности и конфиденциальности. Таким образом, он позволяет процессорам защищать себя в режиме реального времени от использования уязвимостей программного обеспечения. Интеграция этой технологии во встроенные системы позволяет производителям решать проблемы, связанные с безопасностью устройств. Французская компания *Luos* создала стартап, организующий разработку оркестратора с открытым исходным кодом, работающего в режиме реального времени, для распределенных архитектур, позволяющего легко

проектировать, тестировать и развертывать встроенные приложения [6]. Решение стартапа инкапсулирует аппаратные и программные функции в виде микросервисов. Таким образом, каждый микроконтроллер взаимодействует и распознает друг друга, но остается независимым друг от друга. Кроме того, стартап предлагает повторно используемый профиль конфигурации и обеспечивает большую гибкость в цикле разработки оборудования.

Печать электронных компонентов на полупроводниковой подложке – наиболее эффективный способ снизить общую стоимость производственного процесса. Поэтому производители всегда пытаются решить эту проблему, предпринимая попытки поиска новых технологий и достижения в области технологий печати. В отличие от традиционных полупроводников, в которых в качестве цепей используются крошечные провода, в 3D-печатной электронике используются проводящие чернила и зачастую гибкие пленки.

Канадский стартап *Omniplay* [7] предлагает технологию расслаивания, которая облегчает отделение гибких плат от их жесткого носителя. Стартап создает высокопроизводительные электронные устройства на гибких подложках без ущерба для производительности устройств или без изменения производственной инфраструктуры. Этот метод расслаивания делает процесс более дешевым и экологичным по сравнению с традиционными методами расслаивания. Кроме того, он преодолевает ограничения по разрешению и надежности, связанные с печатной электроникой, за счет использования традиционной инфраструктуры КМОП (комплементарная структура металл-оксид-полупроводник) для изготовления устройств. Голландская компания *TracXon* [8] разработала стартап, производящий экологически чистую и гибридную печатную электронику. Стартап использует листовую (*S2S*) и рулонную (*R2R*) печать, фотонное спекание, трафаретную печать, сборку компонентов и многое другое для производства печатной электроники. Технология стартапа отличается меньшим выбросом углекислого газа и находит применение в светотехнической, автомобильной, медицинской и электронной промышленности.

В последние годы технологии упаковки чипов (далее – ТУЧ) стала горячей темой наряду с дизайном чипов. Традиционный способ масштабирования устройства, основанный на законе Мура, в настоящее время имеет ограничения. Другой способ получить преимущества масштабирования – объединить несколько сложных устройств в расширенный пакет. Поэтому производители полупроводников разрабатывают новые передовые технологии изготовления корпусов интегральных схем, чтобы обеспечить большую интеграцию кремния во все более миниатюрные корпуса. Стартапы позволяют производителям предлагать индивидуальную настройку и повышать производительность за счет вертикальной укладки модульных компонентов. Кроме того, усовершенствованная упаковка микросхем оптимизирует производство, обеспечивая баланс между потребностями клиентов и общими затратами.

Развитие ТУЧ микросхем может иллюстрировать ком-

пания *PHIX* [9] – голландский стартап, предоставляющий услуги по сборке и упаковке фотонных интегральных схем. Чтобы сделать *PIC* частью модуля с поддержкой фотоники, его необходимо подключить к таким компонентам, как оптические волокна, другие *PIC*, решения для охлаждения и электроника. Стартап проектирует и производит корпус, в котором осуществляются эти соединения. *PHIX* позволяет полупроводниковой промышленности оптимизировать конструкцию *PIC* и модулей, процессы и оборудование, а также масштабировать производство. Другим примером может служить компания *Onto Innovation* [10] – американский стартап, создающий оборудование для передовых процессов упаковки для полупроводниковой промышленности. Разрабатываемое компанией решение *JetStep W2300 System* отличается специализированной оптикой большого поля и ключевыми преимуществами системы, обеспечивающими максимальную пропускную способность без ограничения разрешения. Стартап позволяет производителям электроники решать проблемы упаковки микросхем, а также проблемы производительности, качества и надежности устройств.

Миниатюризация электроники (далее – МЭ) позволила использовать электронику в нескольких новых областях применения, в частности, в здравоохранении и автомобильной промышленности. Появляются инновации, направленные на то, чтобы сделать электронные компоненты как можно меньшими, сохраняя при этом скорость, надежность и эффективность. Другим важным аспектом МЭ является интеграция все большего количества функций в один компонент. Например, наносетевые датчики и вилочные полевые транзисторы – последние разработки в области миниатюрных электронных компонентов.

Примером реализации МЭ служит *AlixLabs* [11] – шведский стартап, предлагающий метод на основе атомно-слоевого травления (*ALE*) для изготовления наноструктур с характерным размером менее 20 нм. Технология стартапа позволяет создавать наноструктуры за пределами разрешения оптической и электронно-лучевой литографии. Стартап также обеспечивает экономически доступный способ масштабирования транзисторных каналов для узлов с технологией менее 20 нм. Это позволяет обеспечить более высокий уровень интеграции устройств, что, в свою очередь, снижает затраты, увеличивает скорость и снижает энергопотребление устройств. В рамках развития МЭ следует упомянуть *Spectricity* [12] – бельгийский стартап, разрабатывающий миниатюрные интегрированные решения для спектрального зондирования. Зпатентованная стартапом технология гиперспектрального фильтра в масштабе пластины в сочетании с процессами интеграции КМОП позволяет создавать миниатюрные датчики. В отличие от других решений, его фильтры не требуют сложной и громоздкой оптики или упаковки, медленного сканирования или сложной калибровки. Таким образом, компания производит сенсорные устройства, соответствующие требованиям по размеру, энергопотреблению и стоимости мобильных устройств.

Тенденции на основе развития информационных технологий в РЭП

Решения на базе искусственного интеллекта (далее – ИИ) набирают популярность во всех секторах. ИИ влияет на рост производства полупроводников двумя способами:

- во-первых, создавая спрос на инновационные электронные компоненты с поддержкой ИИ;
- во-вторых, улучшая процессы производства и проектирования продукции.

Применение ИИ позволяет совершенствовать процессы проектирования продукта и уменьшать количества дефектов при разработке продукции, а также снимает ряд других ограничений. По некоторым оценкам искусственный интеллект является одной из наиболее перспективных технологий, используемых при развитии РЭП.

Примером развития технологии ИИ может послужить компания *Cybord* – израильский стартап, предлагающий программное обеспечение для проверки компонентов на основе искусственного интеллекта [13]. Для этого стартап использует технологию визуального контроля, основанную на искусственном интеллекте. Он способен осуществлять поиск материалов, производство и управление дефектами отдельных компонентов и собранного продукта в целом. Внедрение этого программного обеспечения на производственных предприятиях позволяет компаниям-производителям электроники гарантировать, что каждый собранный компонент является целостным. Также можно привести компанию *Celus* [14] – немецкий стартап, занимающийся разработкой инженерной платформы на базе искусственного интеллекта для автоматизации всех ручных этапов процесса проектирования. Платформа стартапа автоматически находит подходящие компоненты по информационным блокам компонентов, имеющимся в инженерной платформе. Затем он проектирует и генерирует схемы и планировку печатной платы одним щелчком мыши. Платформа также предназначена для полной интеграции в существующую среду производства электроники и автоматизации процесса от концепции до проектирования. В целом это позволяет производителям сократить время разработки продукта и упростить процесс разработки.

Быстрый рост интернета вещей (далее – ИВ) представляет большую возможность для индустрии производства электроники. Он переоценивает процесс изготовления и управляет методами, которых трудно достичь с помощью традиционных подходов. ИВ позволяет электронным производственным машинам самостоятельно обрабатывать и хранить данные при подключении к цифровому оборудованию. При этом необходимы постоянные улучшения в производстве датчиков, поскольку датчики являются ключевыми компонентами, обеспечивающими работу приложений ИВ. Кроме того, переход на устройства с поддержкой *5G* требует безупречных инновационных чипов с более эффективной архитектурой и меньшими затратами.

Примером развития технологии ИВ является компания *AnalogueSmith* [15]. *AnalogueSmith* – сингапурский стартап, которая специализируется на разработке интеграль-

ных схем для сенсорных узлов интернета вещей. Стартап предлагает дополнительную интеграцию радиочастотных, аналоговых и цифровых функций для интегральных схем на основе КМОП. Этот подход на основе КМОП позволяет производителям снижать затраты без ущерба для требований к производительности. Еще одним примером развития технологии служит *Meivnsystems* – сингапурский стартап, который разрабатывает системы беспроводной связи для устройств ИВ [16]. Стартап предлагает системы *LTE Cat-M*, *NB-IoT*, беспроводной локальной сети, *Bluetooth* и *5G* в зависимости от расстояния связи, энергопотребления и требований к пропускной способности. Это позволяет производителям ИВ упростить разработку собственных систем связи и сократить сроки разработки.

Аддитивное производство (далее – АП) в электронной промышленности устраняет необходимость в плоских печатных платах. Это позволяет создавать новые инновационные конструкции и формы, которые невозможно создать традиционными способами. 3D-принтеры также изготавливают электронные компоненты как единую непрерывную деталь, эффективно создавая полнофункциональную электронику, практически не требующую сборки. Реализация этой тенденции в производстве электроники ускоряет создание прототипов, обеспечивает массовую настройку и децентрализует производство деталей. В целом, технология 3D-печати сделала возможным производство электронных компонентов с точки зрения 3D-проектирования, а не только 2D, с новыми способами компоновки схем.

Развитие АП можно проиллюстрировать примером компании *Vanguard Photonics*. *Vanguard Photonics* [17] – немецкий стартап, предлагающий 3D-нанопроизводство для фотонной интеграции. Технология стартапа решает ключевые проблемы крупномасштабной фотонной интеграции и сборки систем, позволяя печатать на месте фасетно прикрепленные элементы формирования луча. Эта технология также обеспечивает точную адаптацию совершенно разных профилей режимов и допускает центровку, что совместимо с экономичными методами пассивной сборки. Стартап автоматизирует сборку фотонных многочиповых систем, обладающих высокой производительностью и универсальностью. Еще одним примером развития АП может служить компания *ATLANT 3D Nanosystems* [18] – датский стартап, разрабатывающий технологию атомно-слоистой 3D-печати. Это позволяет разрабатывать и производить материалы, устройства и микросистемы с атомарной точностью. Технология стартапа способна выполнять печать на простых и сложных поверхностях, атом за атомом. Технология обеспечивает атомарно точное и масштабируемое производство атомных слоев из нескольких материалов для быстрого прототипирования и производства микро – и наноустройств.

На разных этапах производства электроники существует высокая зависимость от рабочей силы, от вероятных человеческих ошибок. Внедрение иммерсивных технологий (далее – ИТ) позволяет проверять объекты проектирования во всех возможных масштабах, тем самым устраняя

дефекты в изделиях еще на этапе проектирования. В частности, данные ИТ обнаруживают ошибки проектирования в схемах, а также распространенные производственные ошибки (такие как заусенцы, отсутствующие площадки для пайки и изношенные клеммы) еще до изготовления изделия. Кроме того, ИТ облегчают обучение персонала, разработку прототипов и обслуживание сборки, а также позволяют операторам визуализировать рабочие процессы.

В качестве примера ИТ можно привести компанию *InspectAR* [19] – канадский стартап, предоставляющий набор инструментов *AR* для производства печатных плат и тестирования рабочих процессов. Он берет информацию о конструкции печатной платы, а затем сопоставляет ее с калибровочными изображениями образца печатной платы с использованием *AR*. Программное обеспечение вместе с набором инструментов определяет положение печатной платы. Далее проверяет плату через формат дополненной реальности. Это позволяет компаниям-производителям электроники проверять, отлаживать, дорабатывать и собирать печатные платы за меньшее время, без ошибок и разочарований, тем самым повышая производительность. Другим примером может служить чешский стартап *Misterine* [20], предлагающий программное обеспечение дополненной реальности для сборочных линий. Решение стартапа визуально поддерживает сложные процедуры сборки с помощью пошаговых инструкций. Кроме того, система является интерактивной, и возможности компьютерного зрения немедленно обнаруживают ошибки и отправляют уведомления своим пользователям. Таким образом, программное обеспечение стартапа исключает человеческие ошибки, снижает общую рабочую нагрузку и повышает эффективность методов сборки.

Заключение

Проведенный анализ показал, что наряду с совершенствованием традиционных технологий развития радиоэлектронной промышленности наблюдается устойчивая тенденция применения цифровых технологий, обеспечивающих на основе искусственного интеллекта, интернета вещей и применения интеллектуальных методов управления производством, интенсификацию производства. Все это позволяет моделировать и проектировать более сложные информационные процессы и системы в различных отраслях экономики, стать драйверами роста в области научно-технологического развития Российской Федерации.

Литература

1. Исследования проводимых стартапов <https://www.eu-startups.com/directory/startup-insights/>.
2. Технология обработки GaN // Электронный ресурс <https://odysseysemi.com/> (дата обращения 11.06.2024).
3. Разработка углеродных нанотрубок // Электронный ресурс <https://www.sixlinesemi.com/home> (дата обращения 11.06.2024).
4. Полупроводниковые электронные компоненты //

- Электронный ресурс <https://www.koalatech.co.jp/en/technology/> (дата обращения 10.05.2024).
5. Решения для защиты устройств от сетевых атак на уровне процессора // Электронный ресурс <https://www.dovermicrosystems.com/> (дата обращения 11.06.2024).
6. Разработка оркестратора с открытым исходным кодом // Электронный ресурс <https://github.com/Luos-io> (дата обращения 12.06.2024).
7. Технология расслаивания и отделения гибких плат от их жесткого носителя // Электронный ресурс <https://www.omniplatech.com/> (дата обращения 11.06.2024).
8. Технологии гибридной печатной электроники // Электронный ресурс <https://www.tracxon.tech/> (дата обращения 10.06.2024).
9. Сборка и упаковка фотонных интегральных схем // Электронный ресурс <https://www.phix.com/> (дата обращения 12.06.2024).
10. Оборудование для передовых процессов упаковки для полупроводниковой промышленности // Электронный ресурс <https://ontoinnovation.com/> (дата обращения 12.06.2024).
11. Метод на основе атомно-слоевого травления (ALE) // Электронный ресурс <https://www.alixlabs.com/> (дата обращения 10.06.2024).
12. Миниатюрные интегрированные решения для спектрального зондирования // Электронный ресурс <https://spectricity.com/product/> (дата обращения 12.06.2024).
13. Отслеживание электронных компонентов // Электронный ресурс <https://cybord.ai/> (дата обращения 11.06.2024).
14. От мысли к схеме за рекордное время — с ИИ // Электронный ресурс <https://www.celus.io/> (дата обращения 10.06.2024).
15. Разработка интегральных схем для сенсорных узлов // Электронный ресурс <https://analoguesmith.com/projects> (дата обращения 10.06.2024).
16. Системы беспроводной связи // Электронный ресурс <https://www.meyvnsystems.com/our-products/5g-edge-computing/> (дата обращения 12.06.2024).
17. Технологии 3D-нанопроизводства для фотонной интеграции // Электронный ресурс <https://www.vanguard-photonics.com/> (дата обращения 10.06.2024).
18. Технологии атомно-слоистой 3D-печати // Электронный ресурс <https://www.semi.org/en/resources/member-directory/atlant-3d-nanosystems> (дата обращения 11.06.2024).
19. Инструменты AR для производства печатных плат и тестирования рабочих процессов // Электронный ресурс <https://inspect-ar.com/> (дата обращения 11.05.2024).
20. Программное обеспечение дополненной реальности для сборочных линий // Электронный ресурс <https://misterine.com/> (дата обращения 11.05.2024).

УДК 004.04

**ЦИФРОВАЯ ТРАНСФОРМАЦИЯ ПРОЦЕССОВ ИНФОРМАЦИОННОЙ ИНТЕГРАЦИИ, ИНФОРМАЦИОННОГО
ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ И ИНФОРМАЦИОННОЙ ПОДДЕРЖКИ В СИСТЕМУ НАУЧНО-ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО РАЗВИТИЯ
ОТРАСЛЕЙ РАДИОЭЛЕКТРОННОЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ**

**DIGITAL TRANSFORMATION OF THE PROCESSES OF INFORMATION INTEGRATION, INFORMATION INTERACTION
AND INFORMATION SUPPORT INTO THE SYSTEM OF SCIENTIFIC AND TECHNOLOGICAL DEVELOPMENT OF
RADIOELECTRONIC INDUSTRIES**

Иванов И.С., генеральный директор ФГБУ «ВНИИР», +7 (495) 586-17-21, ivanov@vniir-m.ru;
Трусов А. В., д. т. н., доцент, ФГАОУ ВО «Пермский национальный исследовательский политехнический университет»,
профессор кафедры «Информационные технологии и автоматизированные системы»,
+7 (342) 233-27-29, tav@permcnti.ru

Ivanov I.S., General Director of FGBI "VNIIR", +7 (495) 586-17-21, ivanov@vniir-m.ru;
Trusov A.V., Doctor of Technical Sciences, Associate Professor, "Perm National Research Polytechnic University",
Professor of the "Department of Information Technologies and Automated Systems",
+7 (342) 233-27-29, tav@permcnti.ru

Аннотация. Рассмотрены подходы к формированию системы информационной интеграции, информационного взаимодействия и информационной поддержки процессов научно-технологического развития (на примере радиоэлектронной промышленности). Особое внимание уделено формированию множества информационных контуров, объединенных в единое информационное пространство, обеспечивающих информационную интеграцию и информационную поддержку процессов принятия управленческих решений по развитию радиоэлектронной промышленности в условиях цифровой трансформации.

Annotation. *The approaches to the formation of a system of information integration, information interaction and information support for the processes of scientific and technological development (using the example of the radioelectronic industry) are considered. Special attention is paid to the formation of a variety of information circuits combined into a single information space, providing information integration and information support for management decision-making processes for the development of the radioelectronic industry in the context of digital transformation.*

Ключевые слова: информационные ресурсы, информационная поддержка, научно-технологическое развитие, информационные контуры, цифровая трансформация.

Keywords: information resources, information support, scientific and technological development, information circuits, digital transformation.

Научная специальность: 2.3.8. «Информатика и информационные процессы».

Введение

В стратегии развития электронной промышленности делается упор «на создание конкурентоспособной отрасли на основе развития научно-технического и кадрового потенциала, оптимизации и технического перевооружения производственных мощностей, создания новых промышленных технологий» [1], что невозможно сделать без цифровой трансформации отрасли, без информационного взаимодействия всех участников научно-технологического развития (далее – НТР) радиоэлектронной промышленности (далее – РЭП).

Цифровая трансформация процессов информационной интеграции, информационного взаимодействия и информационной поддержки представляет собой организационно-информационную систему, обеспечивающую объединение в единый информационный контур субъектов НТР РЭП на основе сетевых принципов, использования информационных технологий, баз данных и баз знаний, влияющих на процессы принятия управленческих решений в области научно-технологического развития.

В основе информационной интеграции, информационного взаимодействия и информационной поддержки лежат информационные процессы и формализованное (информационное) описание объектов техники и технологии, которыми являются электронная компонентная база (далее – ЭКБ), радиоэлектронная аппаратура (далее – РЭА), материалы, технологии по разработке и производству ЭКБ и РЭА, представляющих наиболее значимый интерес для развития отечественной экономической системы.

Основная часть

Управление информационными процессами формирования информационных ресурсов НТР РЭП

На современном этапе развития крайне важным видится необходимость формирования единой системы управления информационными процессами НТР РЭП, поддерживающими весь жизненный цикл, от генерации идей (на основе проводимых исследований), до реализации конкретных проектов, а также управление процессами, нацеленными на научное обеспечение и межведомственную методическую координацию работ по созданию и проведению исследований и испытаний ЭКБ, разработки и производства РЭА, материалов и технологий по разработке и производству ЭКБ и РЭА, определение потребностей в ЭКБ и РЭА. Реализация указанных функций невозможна без



Иванов И.С.



Трусов А.В.

цифровой трансформации процессов информационной интеграции, информационного взаимодействия и информационной поддержки субъектов РЭП и создания на этой основе системы управления информационными процессами, нацеленными на формирование:

- данных и знаний, осуществляющих поддержку процессов принятия решений о развитии РЭП;
- информационных систем, обеспечивающих информационную интеграцию, взаимодействие и координацию субъектов РЭП (разработчиков, производителей, потребителей и поставщиков РЭА и ЭКБ), способных максимизировать использование совместных информационных ресурсов для решения текущих задач и прогнозирования будущих направлений НТР;
- современной цифровой информационно-библиотечной инфраструктуры и справочно-библиотечных фондов (информационных ресурсов), способных обеспечить информационную поддержку проводимых исследований, производственных и технологических процессов в РЭП;
- организационно-информационных структур, поддерживающих процесс организации сбора, обработки (верификации, валидации), актуализации и хранения информации.

Исходя из вышеизложенного можно предположить, что система управления информационными процессами и формированием информационных ресурсов НТР РЭП представляет собой сложную организационно-информационно-управляющую систему со множеством разнообразных связей между всеми элементами (компонентами) и субъектами системы, включающую:

- органы исполнительной власти;
- отраслевые институты;

- разработчиков РЭА и ЭКБ;
- производителей РЭА и ЭКБ;
- поставщиков РЭА и ЭКБ;
- потребителей РЭА и ЭКБ.

Успешное и эффективное функционирование такой системы возможно только при формировании единого для субъектов РЭП информационного пространства, обеспечивающего информационно-аналитическую поддержку процессов принятия управленческих решений о развитии радиоэлектронной промышленности Российской Федерации на всех этапах жизненного цикла.

В основу системы управления информационными процессами формирования информационных ресурсов (данных) НТР РЭП закладываются функционально-процессные, семантические и онтологические стандарты и модели, которые обеспечивают повышение эффективности организационно-информационного взаимодействия [2, 3] всех субъектов НТР РЭП, позволяют:

- сформировать онтологии предметных областей (функциональных направлений деятельности) и систему классификации данных в РЭП;
- определить семантические метаданные всех субъектов системы;
- наладить обмен и сопоставление данных между процессами и субъектами системы;
- определить взаимоотношения между сущностями (объектами и классами) на принципах причинно-следственных связей («что из чего состоит» и «что из чего следует»);
- определить классы данных, необходимых для информационной поддержки процессов НТР РЭП.

Система управления информационными процессами, на основе единой системы классификации, за счет формирования информационно-библиотечных ресурсов научно-технической, экономической и деловой информации, позволит обеспечить потребителей субъектов РЭП данными и знаниями, необходимыми для информационной и аналитической поддержки процессов управления НТР РЭП.

Цифровая трансформация информационных процессов НТР

Цифровая трансформация процессов научно-технологического развития [4] РЭП представляет собой сложную организационно-информационную систему (рис. 1), состоящую из множества информационных контуров, пересечение которых и синергетический эффект от которых позволяют повысить эффективность и результативность информационной поддержки процессов НТР РЭП. К таким информационным контурам, в первую очередь, следует отнести:

1. Контур информационно-аналитической поддержки развития РЭП;
2. Контур РЭА и ЭКБ, прошедший исследования и испытания;
3. Контур импортозамещения в РЭП;
4. Контур научно-технической информации в РЭП;
5. Контур информационной поддержки научно-образовательных процессов в РЭП;
6. Контур хранения данных и знаний в РЭП.

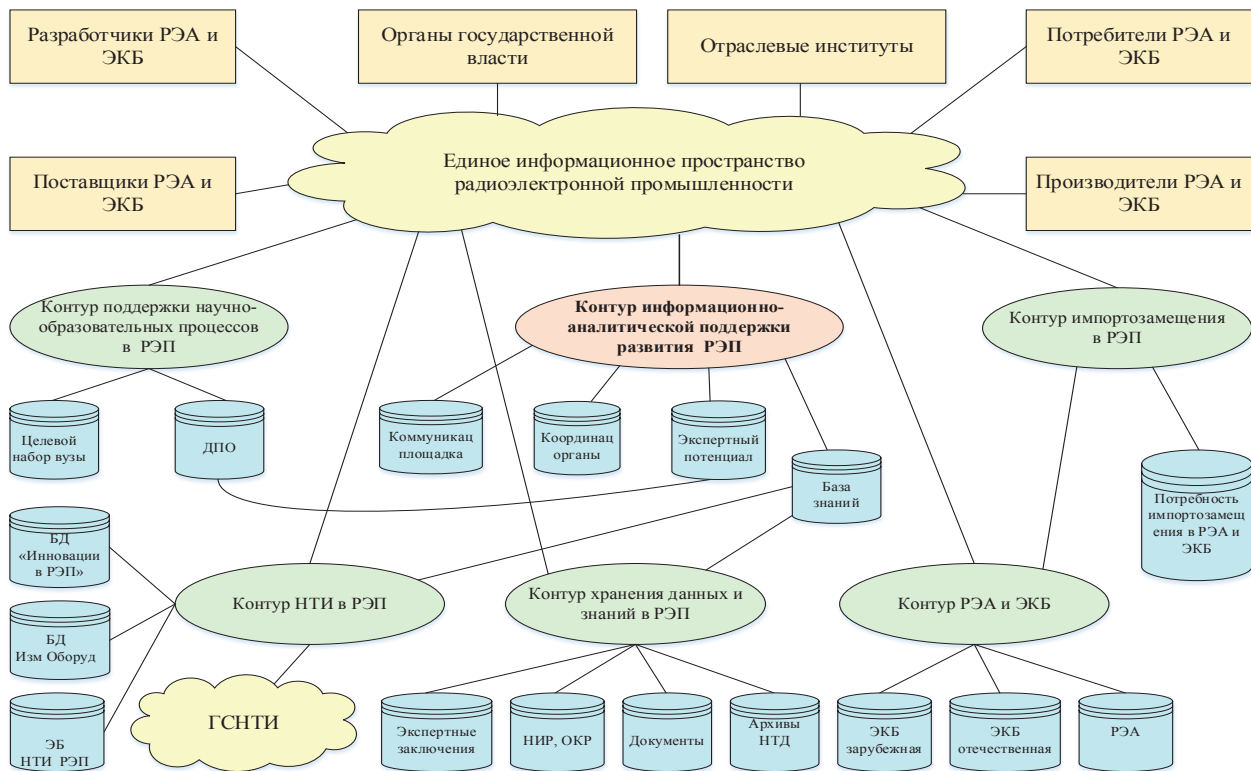


Рис. 1. Система информационной интеграции, информационного взаимодействия и информационной поддержки процессов НТР РЭП

Контур информационно-аналитической поддержки развития радиоэлектронной промышленности является центральным в системе, на основе отраслевых институтов обеспечивает информационно-аналитическую поддержку [5] процессов научного обеспечения и межведомственной методической координации работ по созданию и проведению исследований в РЭП. Контур позволяет сформировать единую информационную площадку, объединяющую всех субъектов РЭП, обеспечивающую информационную поддержку и информационную интеграцию функционирования координационных органов в области НТР. Координационные органы представляют собой сложную организационно-информационную систему, включающую межведомственные рабочие группы, научно-технические советы, экспертные и рабочие группы, каждая из которых, в свою очередь, является сложным информационным объектом. В рамках информационно-аналитической поддержки координационных органов обеспечивается возможность формирования и обмена документами (знаниями), созданными в результате деятельности (протоколов заседаний, нормативно-методических и информационных материалов, справочников, методик, методологий, экспертных заключений и т. п.).

Контур радиоэлектронной аппаратуры и электронной компонентной базы, прошедшей исследования и испытания, является ключевым в системе, формирует единую базу данных, обеспечивающую информационную взаимосвязь разрабатываемой и производимой РЭА и ЭКБ с потребностями отраслей экономики. Контур обеспечивает:

- формирование, на основе системы классификации, формализованных данных на разрабатываемые и производимые РЭА и ЭКБ;
- поиск, на основе системы классификации, необходимых для отраслей экономики ЭКБ, их параметрическое сравнение по ключевым техническим характеристикам, с учетом их использования в РЭА;
- доступ к каталогу ЭКБ отечественного производства;
- доступ к каталогу РЭА отечественного производства;
- доступ к техническим условиям и техническим описаниям изделий компонентной базы;
- доступ к библиотекам 3D-моделей отечественных ЭКБ, что делает удобным их применение при проектировании и производстве за счёт наличия конструкторских библиотек для САПР.

Контур импортозамещения в радиоэлектронной промышленности обеспечивает информационную поддержку субъектов РЭП оперативной, достоверной и своевременной информацией о возможностях высших учебных заведений, научных организаций и промышленных предприятий России в разработке и производстве импортозамещающей РЭА и ЭКБ. Контур нацелен на информационную поддержку процессов принятия управленческих решений органами исполнительной власти, в том числе и в области снижения зависимости отраслей и секторов

российской экономики от импорта РЭА и ЭКБ, реализации отраслевых планов импортозамещения. Информационная поддержка обеспечивает выявление возможностей разработчиков и производителей ЭКБ в России в удовлетворении потребностей предприятий, выпускающих РЭА. Контур импортозамещения в РЭП позволяет сократить время оперативного сбора информации и принятия управленческих решений:

- по потребностям предприятий, выпускающих РЭА в импортозамещающих ЭКБ;
- по возможностям промышленных предприятий России, разрабатывающих и производящих ЭКБ в удовлетворении потребностей предприятий, выпускающих РЭА.

Контур научно-технической информации в радиоэлектронной промышленности нацелен на формирование и информационное обеспечение субъектов РЭП информационными ресурсами научно-технической информации, необходимыми для проведения НИР и ОКР, создания и производства РЭА и ЭКБ. Контур обеспечивает:

- интеграцию с существующими информационными системами, базами и банками данных государственной системы научно-технической информации (ГСНТИ) [6, 7];
- формирование данных и поддержку субъектов РЭП информацией об инновационных разработках в РЭП;
- формирование данных об испытательном и измерительном оборудовании в РЭП;
- формирование электронной библиотеки НТИ в РЭП (ГОСТы, ТУ, ОСТы, нормативно-справочная информация, книги и т. п.) с предоставлением цифровой копии оригинала первоисточника;
- мониторинг средств массовой информации в области реализации проектов и программ, разработке и производстве РЭА и ЭКБ.

Контур информационной поддержки научно-образовательных процессов в РЭП нацелен на информационную интеграцию и информационную поддержку процессов подготовки и переподготовки кадров для НТР отраслей РЭП и обеспечивает:

- формирование данных в потребности организаций РЭП в целевой подготовке кадров;
- информационную поддержку процесса организации и проведения профессиональной подготовки и переподготовки кадров в РЭП;
- информационную интеграцию профессорско-преподавательского (экспертного, кадрового) потенциала с потребностью субъектов РЭП, необходимого для осуществления научно-исследовательской и научно-образовательной деятельности.

Контур хранения данных и знаний в РЭП предназначен для формирования единого хранилища данных и знаний, связанных с реализацией задач НТР отраслей РЭП. Функционально контур нацелен на создание цифрового (оперативного и архивного) депозитария научно-технической информации и документации по результатам проводимых

научно-исследовательских, опытно-конструкторских и опытно-технологических работ (далее – НИОКТР). Контур, на основе хранимых данных и знаний, за счет выстроенных информационных процессов обеспечивает доступ всех заинтересованных субъектов НТР РЭП к результатам научно-технической деятельности, что позволяет значительно сокращать сроки выполняемых НИОКТР с одновременным улучшением их качества. Контур хранения данных и знаний в РЭП обеспечивает:

- хранение экспертных и других документов по проведенным исследованиям и испытаниям РЭА и ЭКБ;
- хранение полнотекстовых отчетов о результатах, выполненных НИОКТР;
- хранение различного рода документов (нормативно-справочной информации, справочников, классификаторов, тематических подборок и т. п.), необходимых для качественного обеспечения производственных процессов.

Синергетический эффект от взаимодействия всех информационных контуров позволяет осуществить информационную поддержку процессов принятия управленческих решений, сформировать систему управления процессами формирования информационных ресурсов НТР РЭП, в результате построения которой:

- реализуется задача цифровой трансформации процессов научно-технологического развития РЭП в цифровую среду;
- повышается эффективность информационного взаимодействия субъектов отраслей РЭП с субъектами отраслей экономики;
- повышается эффективность управления информационным обеспечением, информационной поддержкой и организационно-информационным взаимодействием субъектов научно-технологического развития РЭП;
- обеспечивается формализованное (единообразное) формирование данных субъектами отраслей РЭП на основе единой системы классификации;
- обеспечивается, на основе системы классификации, формализованный поиск данных о разработках и производстве РЭА и ЭКБ субъектами радиоэлектронной промышленности;
- решаются вопросы разрозненности субъектов РЭП за счет обеспечения их информационной интеграции.

Заключение

Исходя из вышеизложенного, базируясь на подходах цифровой трансформации с использованием возможностей современных информационных технологий и систем, реализация механизмов управления информационными процессами и формирования информационных ресурсов в системах НТР РЭП, за счет информационного взаимодействия и информационной интеграции участников НТР позволяет:

- сформировать инструмент усиления национальной технологической безопасности в радиоэлектронной промышленности;
- повысить конкурентоспособность научно-технического и промышленного развития национальной РЭА, ЭКБ и РЭП в целом;
- сформировать условия для появления новых и развитие существующих наукоемких производств в РЭП;
- повысить инновационную активность субъектов научно-технологической (инновационной) деятельности;
- сформировать организационно-информационный механизм информационно-аналитической поддержки принятия решения НТР РЭП.

Литература

1. Стратегия развития электронной промышленности Российской Федерации на период до 2030 года / Распоряжение Правительства Российской Федерации от 17 января 2020 года № 20-р // Электронный ресурс: <http://publication.pravo.gov.ru/Document/View/0001202001220017> (дата обращения 03.05.2023).
2. Иванов И.С. Цифровая трансформация организационно-информационных процессов региональной системы научно-технической информации // Электронный ресурс: <https://mlsd2022.ipu.ru/proceedings/0706.pdf> (дата обращения 04.05.2023).
3. Цветкова В.А., Бачурин А.В. Особенности информационного обеспечения в системах управления знаниями на примере топливно-энергетического комплекса. // Информационные ресурсы России. // 2018. № 3 - с.2-8.
4. Трусов А.В., Иванов И.С. Цифровая трансформация процессов научно-технологического развития отраслей ТЭК на основе регионального сегмента государственной системы научно-технической информации // Электронный ресурс: <https://mlsd2022.ipu.ru/proceedings/0728.pdf> (дата обращения 04.05.2023).
5. Трусов А.В. Формирование системы информационно-аналитического обеспечения научно-технологического развития // Научно-практический журнал Информационные ресурсы России. // 2015. № 3 (145), с.10-16.
6. Цветкова В.А., Гиляревский Р.С., Родионов И.И. Шанс для восстановления информационно-сервисной инфраструктуры России // Научно-техническая информация. Серия 1: Организация и методика информационной работы, 2023. № 2. с. 14-19. DOI 10.36535/0548-0019-2023-02-3; eLIBRARY ID: 50350150; EDN: KCFMTN.
7. Постановление Правительства Российской Федерации от 24.07.1997 № 950 «Об утверждении Положения о государственной системе научно-технической информации» // Электронный ресурс: http://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_86992/ (дата обращения 04.05.2023).

УДК 330.42, 658.56

ВОПРОСЫ ОЦЕНКИ ИНТЕРОПЕРАБЕЛЬНОСТИ СЛОЖНЫХ ТЕХНИЧЕСКИХ СИСТЕМ

ISSUES OF ASSESSING THE INTEROPERABILITY OF COMPLEX TECHNICAL SYSTEMS

Боков С.И., д. э. н., профессор, заведующий базовой кафедрой менеджмента в сфере систем вооружений РТУ МИРЭА, главный научный сотрудник ФГБУ «46 ЦНИИ» Минобороны России, заслуженный деятель науки Российской Федерации, член-корреспондент РАН и АВН, +7 (495) 055-05-99, bokov.s.i@mail.ru;

Пестун А.Г., начальник группы – ведущий специалист отдела сертификации АНО «Электронсертифика», +7 (495) 055-05-99, hatpestyn@yandex.ru;

Гриневич С.Л., аспирант ФГБНУ «Аналитический центр», +7 (495) 663-20-13, mail@fgbnuac.ru

Bokov S.I., Doctor of Economics, Professor, Head of the Basic Department of Management in the field of weapons Systems of the RTU MIREA, Chief Researcher of the Federal State Budgetary Institution "46 Central Research Institute" of the Ministry of Defense of the Russian Federation, Honored Scientist of the Russian Federation, Corresponding member of the Russian Academy of Sciences and AVN, +7 (495) 055-05-99, bokov.s.i@mail.ru;

Pestun A.G., head of the group – leading specialist of the certification department ANO "Electronicertifica", +7 (495) 055-05-99, hatpestyn@yandex.ru;

Grinevich S.L., postgraduate student of the FSBI "Analytical Center", +7 (495) 663-20-13, mail@fgbnuac.ru

Аннотация. В работе рассмотрены вопросы оценки интероперабельности для обоснования развития сложных технических систем, а так же заданию требований к их развитию. Сделан акцент на том, что теоретическая проработка рассмотренных вопросов требует развития под современные условия, как в части создания системы параметров и системы критериев, так и формирования методологического аппарата обоснования требований к сложным техническим системам различного назначения.

Annotation. The paper considers the issues of assessing interoperability to justify the development of complex technical systems, as well as setting requirements for their development. The emphasis is placed on the fact that the theoretical study of the considered issues requires development under modern conditions, both in terms of creating a system of parameters and a system of criteria, and the formation of a methodological apparatus for substantiating requirements for complex technical systems for various purposes.

Ключевые слова: интероперабельность, система параметров, сложная техническая система.

Keywords: interoperability, parameter system, complex technical system.

Научная специальность: 2.5.22. Управление качеством продукции. Стандартизация. Организация производства.

Введение

Развитие сложных технических систем (различного назначения) реализуется, в том числе, посредством использования информационно-коммуникационных технологий, создаваемых на разнородных программно-аппаратных платформах, которые в свою очередь должны в конечном счете взаимодействовать друг с другом на основе сетевых технологий.

При обеспечении взаимодействия рассматриваемых сложных технических систем ввиду их разнородности неизбежно возникает проблема интероперабельности.

Согласно [1] интероперабельность – это способность двух или более информационных систем или компонентов к обмену информацией и к использованию информации, полученной в результате обмена.

Следует отметить, что интероперабельность не является абсолютной величиной, т. е. величиной с общепринятым физическим смыслом, соответственно ее оценка является сложной научно-технической и организационно-методической проблемой, которая усугубляется не только необходимостью оценки рассматриваемой величины, но и необходимостью задания соответствующих требований к



Боков С.И.



Гриневич С.Л.



Пестун А.Г.

программному обеспечению и (или) программно-аппаратным комплексам.

К основным факторам, обуславливающим проблематику интероперабельности, относятся: несоответствие системы машинных команд; протоколов обмена информации; систем синхронизации и единого времени; габаритных характеристик; величин питающих напряжений и т. п.

Учет этих факторов на стадии разработки сложных технических систем различного назначения может обеспечить значительное повышение эффективности рассматриваемых систем, а также некоторый экономический эффект.

Необходимость оценки интероперабельности сложных технических систем остро стоит в том числе для различного вооружения и военной техники, так как их сопряжение посредством использования информационно-коммуникационных технологий необходимо для обеспечения согласованного и эффективного применения. Ярким примером являются комплексы и системы воздушно-космической обороны, решающие схожие, но не тождественные задачи. Аналогичные проблемы стоят при комплексировании космических аппаратов различного целевого назначения при их объединении в многоспутниковую космическую систему реального времени и т. д. Это в свою очередь приводит к дополнительным (неоправданным) затратам из-за неполного использования потенциала исправной техники.

Основная часть

Проблематика интероперабельности является известной и проработана в работах следующих авторов: Козлов С.В., Растягаев Д.В., Олейников А.Я., Макаренко С.И., Черницкая Т.Е., Соловьева О.С., однако необходимо подчеркнуть, что на методологическом уровне, особенно в части развития сложных технических систем (гражданского и военного назначения) данный вопрос проработан недостаточно [2-8].

Проведенный выше анализ показал, что проблема оценки интероперабельности может быть рассмотрена в двух аспектах:

1. В части вопросов оценивания интероперабельности на методическом и методологическом уровнях.
2. В части задания требований интероперабельности сложных технических систем, как гражданского, так и военного назначения.

Необходимо отметить возможность решения этой проблемы в прямой (через оценку и задание требований) и обратной постановке (через оценку интероперабельности существующих систем) (рис. 1).



Рис. 1. Решения проблемы в прямой и обратной постановке

При этом формирование и обоснование требований к интероперабельности сложных технических систем (гражданского или военного назначения) можно представить в виде следующей этапности.

Этап 1. Идентификация параметров, характеризующих качество программных и программно-аппаратных средств сложных технических систем.

Этап 2. Формирование системы параметров, характеризующих качество программных и программно-аппаратных средств сложных технических систем, в части интероперабельности.

Этап 3. Оценка параметров, сформированной системы, характеризующих качество программных и программно-аппаратных средств сложных технических систем, в части интероперабельности.

Этап 4. Формирование и обоснование системы критериев, характеризующих качество программных и программно-аппаратных средств сложных технических систем, в части интероперабельности.

Этап 5. Разработка и обоснование методологии, позволяющей использовать обоснованную систему параметров и критериев для задания требований, в части интероперабельности сложных технических систем, как гражданского, так и военного назначения.

Необходимо отметить, что оценка интероперабельности не является новой задачей и зачастую сводится к относительно простым подходам, базируемым на моделях качества типа МакКолла, Бема и Дромея [9-11].

При этом, модель качества МакКолла позволяет оценить интероперабельности на каждом этапе его жизненного цикла, начиная от проектирования и заканчивая обслуживанием. Упомянутая модель качества Бема, по сути является идеологическим продолжением модели МакКолла, но в ней обычно выделяют больше параметров качества. Модель Дромея интересна тем, что в ней не определен строгий набор оцениваемых параметров.

Может сложиться мнение, что применение данных моделей возможно на методологическом уровне, однако необходимо подчеркнуть, что их адаптация под конкретные условия может потребовать глубокой переработки, что не всегда возможно.

Заключение

Таким образом можно констатировать, вопросы оценки интероперабельности являются теоретически и практически востребованными как для обоснования развития сложных технических систем (гражданского и военного назначения), так и задания требований к их развитию, что может сопровождаться значительным экономическим эффектом, оценка которого, также является самостоятельной задачей. Необходимость теоретической проработки данного вопроса в части создания системы параметров и критериев, а также формирования методологического аппарата обоснования требований интероперабельности к сложным техническим системам, как гражданского, так и военного назначения обусловлена современным острыми требованиями обеспечения научно-технического и инновационного развития Российской Федерации.

Литература

1. ГОСТ Р 59796-2021 «Интероперабельность. Термины и определения».
2. Козлов С.В., Макаренко С.И., Олейников А.Я., Растягаев Д.В., Черницкая Т.Е. Проблема интероперабель-

- ности в сетевых системах управления // Журнал радиоэлектроники. 2019. № 12. С. 16. DOI: 10.30898/1684-1719.2019.12.4.
3. Черницкая Т.Е., Макаренко С.И., Растягаев Д.В. Аспекты информационной безопасности в рамках оценки интероперабельности сетевых систем // Вестник Российского нового университета. Серия: Сложные системы: модели, анализ и управление. 2020. № 4. С. 113-121. DOI: 10.25586/RNU.V9187.20.04.P.113.
 4. Башлыкова А.А., Козлов С.В., Макаренко С.И., Олейников А.Я., Фомин И.А. Подход к обеспечению интероперабельности в сетевых системах управления // Журнал радиоэлектроники. 2020. № 6. С. 15. DOI: 10.30898/1684-1719.2020.6.13.
 5. Макаренко С.И., Соловьева О.С. Семантическая интероперабельность взаимодействия элементов в сетевых системах // Журнал радиоэлектроники. 2021. № 6. DOI: 10.30898/1684-1719.2021.6.3.
 6. Макаренко С.И. О некоторых параметрах поиска и обработки информации при обеспечении технической интероперабельности сетевых систем // Журнал радиоэлектроники. 2021. № 3. DOI: 10.30898/1684-1719.2021.3.5.
 7. Gulyaev Y.V., Oleinikov A.Ya., Makarenko S.I. Russian approach to interoperability formalization of network-centric systems // Proceedings of 2021 IV 39 International Conference on Control in Technical Systems (CTS). – IEEE, 2021. – С. 72-75.
 8. Макаренко С.И., Олейников А.Я., Черницкая Т.Е. Модели интероперабельности информационных систем // Системы управления, связи и безопасности. 2019. № 4. С. 215-245. DOI: 10.24411/2410-9916-2019-10408.
 9. Crosby P. Quality is Free. McGraw-Hill, New York, 1979.
 10. Dromey R.G. Cornering the Chimera. IEEE Software, 13(1): 33–43, 1996.
 11. Hwang C. and Yoon K. Multiple attribute decision making: methods and applications: a state-of-the-art survey. Springer-Verlag, Berlin, 1981.

УДК 621.382

МЕТОДИКА ИССЛЕДОВАНИЯ АНАЛОГО-ЦИФРОВЫХ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЕЙ РАЗЛИЧНЫХ АРХИТЕКТУР ПРИ ВОЗДЕЙСТВИИ ИОНИЗИРУЮЩЕГО ИЗЛУЧЕНИЯ КОСМИЧЕСКОГО ПРОСТРАНСТВА

METHODOLOGY FOR ANALYZING ANALOG-TO-DIGITAL CONVERTERS UNDER THE INFLUENCE OF SPACE IONIZING RADIATION

Торшин Р.С., инженер-исследователь, НИЯУ МИФИ, +7 (916) 666-96-77, RSTorshin@mephi.ru

Torshin R.S., Research Engineer, NRU MEPhI, +7 (916) 666-96-77, RSTorshin@mephi.ru

Аннотация. В работе предлагается и апробируется методика измерения и контроля основных точностных параметров характеристики преобразования аналого-цифровых преобразователей (АЦП) при воздействии ионизирующего излучения космического пространства (далее - ИИ КП). В рамках работы проводилось исследование зависимости скорости деградации динамических параметров АЦП от частоты входных сигналов, частоты дискретизации и от режима функционирования преобразователя для различных архитектур АЦП. Основными динамическими характеристиками АЦП являются отношение сигнал-шум (SNR), динамический диапазон, свободный от гармонических искажений (SFDR), отношение сигнала к шуму и искажениям (SINAD) и полные нелинейные искажения (THD). Они определялись по спектру оцифрованного синусоидального сигнала с помощью алгоритмов быстрого преобразования Фурье (далее - БПФ). Статические параметры (интегральная нелинейность (далее - ИНЛ), ошибки смещения и усиления) определялись по измеренным с помощью метода гистограмм местоположениям межкодовых переходов. В качестве контрольно-измерительного оборудования для тестирования критериальных параметров АЦП использовались модульные измерительные приборы фирмы National Instruments совместно с генератором сигналов SMA100B (R&S). Были получены экспериментальные данные о скорости деградации основных спецификаций АЦП в различных режимах для трех архитектур преобразователей (параллельные, конвейерные и SAR-АЦП). На основании результатов сделан вывод, что наиболее чувствительными параметрами АЦП к воздействию ИИ КП являются динамические параметры, для некоторых архитектур существует зависимость скорости деградации динамических параметров от частоты тактирования и от частоты входных сигналов. Различия в уровнях стойкости предлагаемой методики от существующей составляют от 2 до 6 раз.

Annotation. The paper presents and validates a method for measuring and controlling the key accuracy parameters of the conversion characteristic of analog-to-digital converters under the Influence of Space Ionizing Radiation. The study examined the dependence of the rate of degradation of ADC dynamic parameters on the frequency of input signals, sampling frequency, and the mode of operation of the converter for various ADC architectures. The main dynamic characteristics of the ADC are signal-to-noise ratio (SNR), spurious free dynamic range (SFDR), signal-to-noise and distortion ratio (SINAD), and total harmonic distortion (THD). They were determined from the spectrum of the digitized sinusoidal signal using fast Fourier transform (FFT).

Static parameters (integral nonlinearity (INL), offset and gain errors) were determined by the locations of code transitions measured using the histogram method. Modular measurement instruments from National Instruments, in conjunction with an SMA100B (R&S) signal generator, were employed as control and measurement equipment for evaluating the criteria parameters. Experimental data on the degradation rate of the main ADC specifications in various modes for three converter architectures (parallel, pipeline, and SAR-ADCs) were obtained. Based on the obtained data, it was established that dynamic parameters of ADCs are most susceptible to the absorbed dose. For certain architectures, there is a correlation between the rate of degradation of dynamic parameters and clock frequency as well as input signal frequency. The variation in resistance levels between the proposed method and the existing one ranges from two to six times.

Ключевые слова: аналого-цифровой преобразователь, статические параметры АЦП, динамические параметры АЦП, архитектуры АЦП, ионизирующее излучение, радиационная стойкость.

Keywords: analog-to-digital converter, static parameters, dynamic parameters, ADC architectures, ionizing radiation, radiation resistance.

Научная специальность: 2.2.2. Электронная компонентная база микро- и нанoeлектроники, квантовых устройств.

Введение

Аналого-цифровые преобразователи (далее – АЦП) являются ключевым узлом между аналоговым миром входной информации и цифровым миром обработки и принятия решения в системах управления. Из-за многообразия конечных приложений существует большое количество параметров-критериев работоспособности преобразователей.

Микросхемы АЦП в составе устройства могут функционировать в различных режимах: (режим ожидания (standby mode), пониженного энергопотребления (power down), режим однократного преобразования (single-shot conversion), непрерывного преобразования (continuous conversion)), а также могут работать с различной комбинацией входных сигналов: (одно- или многотональные синусоидальные сигналы широкой полосы частот, импульсные сигналы, шумовые и квазидетерминированные сигналы).

В зависимости от архитектурных особенностей микросхемы АЦП могут выполнять различные функции, работать с сигналами определенной полосы пропускания. Выбор архитектуры преобразователя для конечного приложения зависит от требований к скорости, разрядности, точности, типа входного сигнала, цифрового интерфейса взаимодействия, энергопотребления и стоимости отдельного типа [1].

Одним из наиболее распространенных типов сигналов, которые обрабатываются с помощью АЦП, являются синусоидальные сигналы широкого диапазона частот. Преобразователи используются для оцифровки синусоидаль-



Торшин П.С.

ных сигналов в большинстве приложений, где требуется преобразование аналогового сигнала в цифровой: аудио-оборудование, телекоммуникационные системы, измерительные приборы, управление технологическим процессом, навигация, гидролокация. В каждом из них требуется точное измерение, генерация и обработка широкополосных синусоидальных сигналов на предельных частотах дискретизации преобразователя.

В зависимости от особенностей конечного приложения определенные характеристики преобразователей могут иметь первостепенное значение, в то время как другие параметры (или те же параметры, но измеренные в другой частотной области) могут быть вообще не задействованы в процессе функционирования устройства и не представлять интерес для разработчиков аналого-цифровых устройств [1, 2]. В таблице 1 представлены наиболее важные спецификации преобразователей с точки зрения их применения в конкретной области.

Таблица 1

Типовые приложения АЦП и соответствующие им основные критериальные параметры

Типовые конечные приложения микросхем АЦП	Основные критериальные параметры
Аудио оборудование	SINAD, THD, SNR
Сбор данных, автоматизация производства	ДНЛ, ИНЛ, ошибка смещения, ошибка усиления
Цифровые осциллографы	SINAD, ENOB, SNR, аналоговая полоса пропускания
Оцифровка изображений	ДНЛ, ИНЛ, SINAD, ENOB, SNR
Телекоммуникационные системы	SINAD, NPR, SFDR, IMD, SNR
Видео оборудование	ДНЛ, SINAD, SFDR, SNR, ошибка усиления
Навигация, метеорология, гидролокация	SINAD, IMD, ENOB, SFDR, SNR

Основная часть

Методология контроля параметров АЦП

Актуальная методика исследований микросхем АЦП на стойкость к воздействию ионизирующего излучения на данный момент является единой для всех архитектур преобразователей без привязки к частотным и амплитудно-временным характеристикам входных сигналов и архитектурных особенностей самих преобразователей. Для микросхем АЦП она заключается в оцифровке медленно изменяющегося входного сигнала с известной плотностью вероятности (скорость линейного изменения сигнала не превышает 0,05 от номинального значения кванта преобразования АЦП конкретного типа), накопления большого числа выходных кодов и вычисления статических спецификаций преобразователя с помощью метода гистограмм (ИНЛ, ДНЛ, погрешности смещения и усиления) [1, 3].

Таким образом, в существующем подходе к исследованию радиационной стойкости преобразователей никак не учитываются такие важные аспекты, основанные на применении микросхем АЦП в конечных приложениях, как: режим функционирования, динамические характеристики, чувствительность к различному виду входных сигналов и частоте дискретизации и отсутствует ориентация на особенности конечных приложений, в которых они будут функционировать. Это может привести к тому, что результаты исследований не будут полностью отражать реальные условия эксплуатации АЦП и радиационные исследования будут показывать сильно завышенный уровень радиационной стойкости [4, 5].

В связи с этим актуальной задачей является разработка методики испытаний микросхем АЦП на стойкость к воздействию ионизирующего излучения, которая будет учитывать особенности основных архитектур АЦП и контролировать ключевые для конечных приложений параметры.

В рамках данной работы предлагается и апробируется методика контроля радиационного поведения преобразователей, которая включает в себя измерение статических характеристик (ИНЛ, ДНЛ, погрешность смещения и усиления) для линейно изменяющегося (или синусоидального) сигнала небольшой частоты с целью контроля линейности характеристики преобразования, измерение динамических характеристик (SFDR, SINAD, SNR, THD) для трех различных частот тактирования и трех различных частот входного синусоидального сигнала, равномерно распределенных по аналоговой полосе пропускания данного типа для учета динамических искажений, возникающих в различных частях полосы пропускания. При достаточном количестве образцов рекомендуется проводить дополнительные исследования в зависимости от режима функционирования преобразователя (как минимум – активный статический режим и динамический режим непрерывного преобразования входных сигналов различной конфигурации). Если такой возможности нет, то проводят исследования в активном статическом режиме (при котором 1/10 времени облучения микросхема проводит в динамическом режиме обмера критериальных параметров, 9/10 – активный статический режим) [6].

Оборудование

В качестве контрольно-измерительного оборудования, используемого для конфигурации и задания режимов функционирования исследуемых преобразователей, вычисления основных характеристик АЦП согласно предлагаемой методике, использовались модули PXI (NI), объединенные в единую систему при помощи шасси NI PXIe-1078 совместно с генератором синусоидальных сигналов и сигналов тактирования SMA100B (R&S) [4]:

- PXIe-7962R – многофункциональный модуль PXI, имеющий в своем составе FPGA Virtex-5 SX50T, 132 линии несимметричного ввода-вывода;
- NI-6583 – цифровой адаптерный модуль, который, в сочетании с модулем PXIe-7962R образует высокоскоростной цифровой преобразователь с подключением через 32 несимметричных и 16 низковольтных дифференциальных сигнальных (LVDS) цифровых контакта;
- NI PXI-4461 – звуковой и вибрационный модуль, имеющий два канала для динамической генерации сигнала и два канала для оцифровки. Использовался в качестве генератора низкочастотных аналоговых сигналов (24-разрядный ЦАП);
- NI PXI-4110 – 3-ех канальный программируемый источник питания;
- NI PXI-4071 – высокопроизводительный цифровой мультиметр с разрешением 7½ разряда и напряжением 1000 В;
- SMA100B – генератор сигналов с диапазоном частот от 8 кГц до 20 ГГц с низким уровнем гармоник, низким уровнем широкополосного шума и джиттера.

Создание программного обеспечения (ПО) осуществлялось в среде программирования NI LabVIEW с модулем NI LabVIEW FPGA.

Детали эксперимента

Объектами исследования были выбраны три аналого-цифровых преобразователя различной архитектуры: 8-разрядный параллельный АЦП (flash-ADC), 16-разрядный конвейерный АЦП (pipeline-ADC) и 12-разрядный АЦП с регистром последовательного приближения (SAR-ADC).

Облучение проводилось изотопом Cs-137 при комнатной температуре (25 ± 10) °С.

Алгоритм измерения критериальных параметров описан ниже:

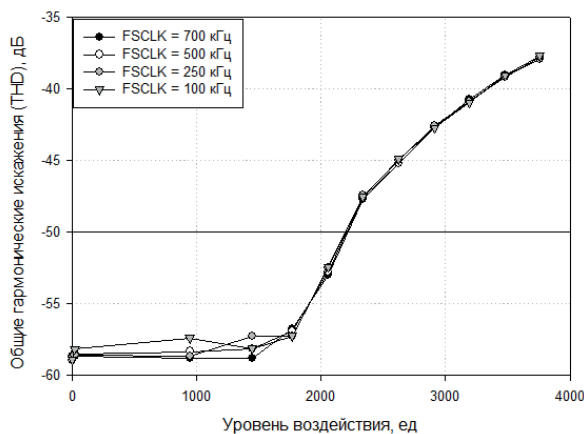
1. Измерение статических характеристик с линейно возрастающим или синусоидальным входным сигналом.
2. Измерение динамических характеристик при фиксированной частоте дискретизации для 3-х и более различных частот входного синусоидального сигнала, равномерно распределенных во всей аналоговой полосе пропускания АЦП конкретного типа.
3. Измерение динамических характеристик при различных частотах дискретизации для входного синусоидального сигнала фиксированной частоты.

- Измерение токов потребления в динамическом режиме оцифровки входного сигнала с максимальной частотой дискретизации и режиме пониженного энергопотребления (Power-down). Во время облучения преобразователи находились в режиме пониженного энергопотребления, время нахождения в динамическом режиме (пункты 1-3) не превышало 1/10 времени всего облучения. ПО в LabVIEW записывало измеренные параметры АЦП в лог-файл.
- При достаточном количестве образцов проводились дополнительные исследования радиационного поведения преобразователей в полностью динамическом режиме непрерывного преобразования входных сигналов различной конфигурации.

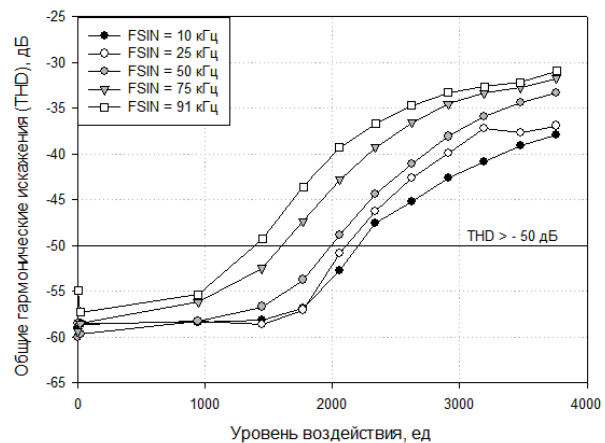
Результаты эксперимента

1. Параллельный АЦП

Первым объектом исследования был параллельный АЦП с максимальной частотой дискретизации 1 МГц и максимальной частотой входного сигнала 100 кГц.



а)



б)

Рис. 1. График изменения THD для фиксированной частоты входного сигнала (а) и THD для фиксированной частоты дискретизации (б) при воздействии ИИ КП

Из полученных графиков динамических характеристик от уровня воздействия видно, что существует зависимость скорости изменения динамических параметров от частоты входного сигнала. Можно предположить, что основной вклад в характер радиационного поведения оказывают аналоговые элементы схемы и изменение их частотных характеристик (полоса пропускания, частота единичного усиления, потеря устойчивости, изменение сопротивления аналоговых ключей) — входные усилители/буферы, усилители ошибки, так как наблюдается чувствительность к частоте входного сигнала и отсутствие чувствительности к частоте дискретизации.

2. Конвейерный АЦП

Вторым объектом исследования был 16-разрядный конвейерный АЦП с максимальной частотой дискретизации 80 МГц, предназначенный для использования в

Параллельные АЦП, как правило, имеют разрядность до 8 бит. В них присутствует только задержка в компараторах и цифровой логики, что позволяет достичь скорости преобразования до 10 ГГц. Преобразователи данной архитектуры имеют достаточно высокое энергопотребление и высокую стоимость. Типичные примеры включают сбор данных, спутниковую связь, радиолокационную обработку, стробоскопические осциллографы и жесткие диски высокой плотности.

На рис. 1 представлено изменение динамического параметра THD от уровня воздействия для различных условий: на рис. 1а частота входного синусоидального сигнала была фиксированной, а частота дискретизации изменялась от 100 до 700 кГц. Далее фиксировалась частота преобразования АЦП и измерялись динамические характеристики для входных синусоидальных сигналов в диапазоне от 10 до 91 кГц (рис. 1б).

современных системах обработки сигналов радиолокационных устройств, устройств цифровой связи и любых других устройств, позволяющих принимать и обрабатывать оцифрованные данные с АЦП в реальном времени.

Конвейерный принцип многоступенчатой обработки входного сигнала позволяет найти оптимальный компромисс между разрядностью, быстродействием и сложностью топологии АЦП. Эти преобразователи работают до частот дискретизации в 1 ГГц, имеют разрядность 10-18 бит и, как правило, имеют ограниченную снизу минимально допустимую частоту оцифровки из-за высокой скорости разряда конденсаторов хранения в ВВХ (устройство выборки хранения). В них присутствует конвейерная задержка, что усложняет их применение в системах с обратной связью, однако они нашли широкое применение в спектроанализаторах, медицинской технике, радиолокации. Благодаря своей внутренней организации получается

добиться высоких динамических параметров SNR, SFDR, что делает преобразователи данной архитектуры незаменимыми в приложениях обработки широкополосных сигналов.

На рис. 2 представлено изменение динамических параметров SINAD и SFDR от уровня воздействия для различ-

ных условий: на рис. 2а частота входного синусоидального сигнала была фиксированной, а частота дискретизации изменялась от 25 до 80 МГц. Далее фиксировалась частота преобразования АЦП и измерялись динамические характеристики для входных синусоидальных сигналов в диапазоне от 10 до 35 МГц (рис. 2б).

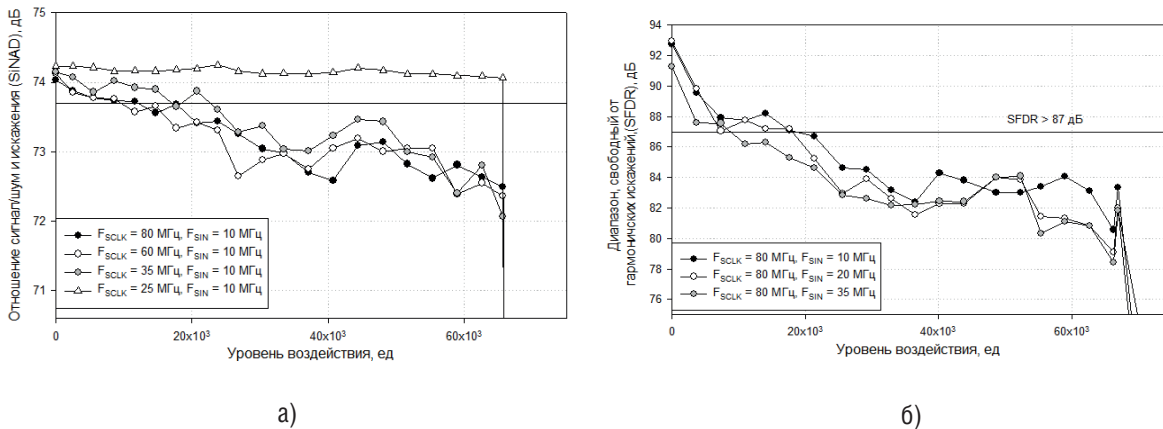


Рис. 2. График изменения SINAD для фиксированной частоты входного сигнала (а) и SFDR для фиксированной частоты дискретизации (б) при воздействии ИИ КП

Видно, что существует обратная зависимость по сравнению с предыдущим исследованием: с увеличением частоты дискретизации уменьшается уровень радиационной стойкости преобразователя и отсутствует ярко выраженная зависимость скорости деградации динамических характеристик от частоты входного сигнала.

На рис. 3 представлено сравнение скорости дегра-

дации статических (ИНЛ) и динамических (THD, SFDR) характеристик рассмотренных ранее преобразователей различных архитектур. Видно, что при контроле только статических характеристик (существующая методика), завышается фактический уровень радиационной стойкости по ключевым параметрам АЦП от 2 до 6 раз.

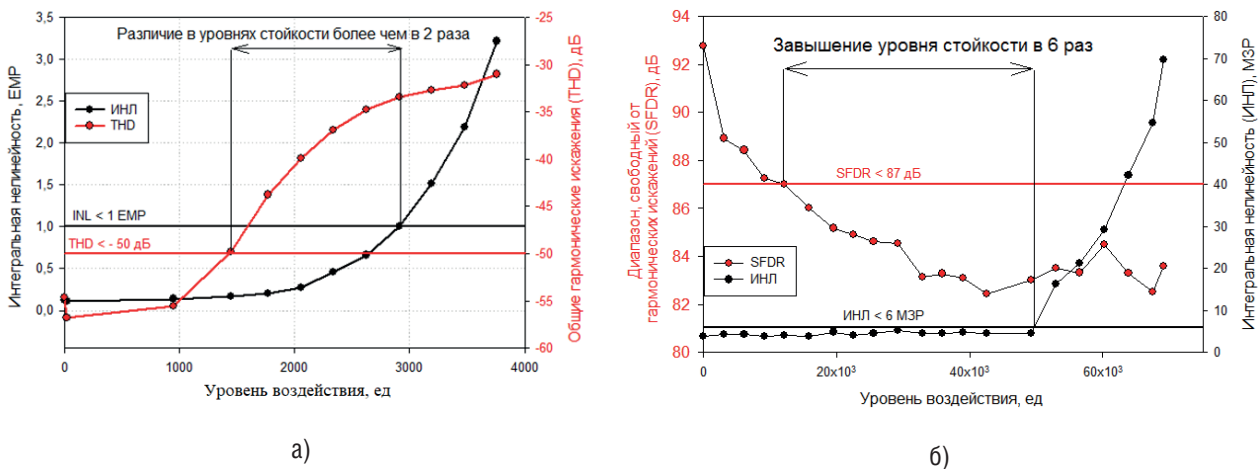


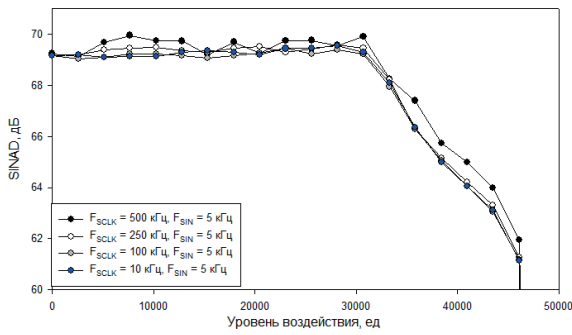
Рис. 3. Сравнение скоростей деградации статических и динамических характеристик параллельных (а) и конвейерных (б) АЦП

3. АЦП с регистром последовательного приближения

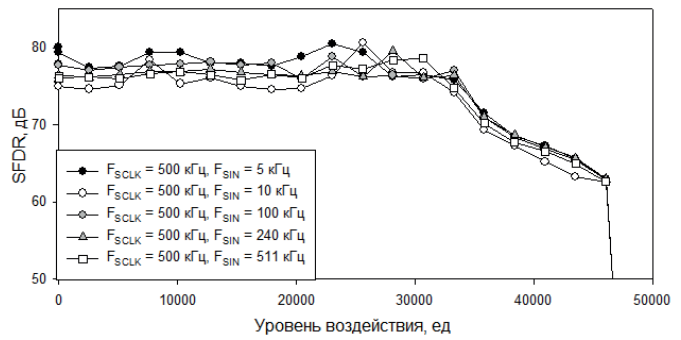
Третьим объектом был 12-разрядный SAR-АЦП с максимальной частотой дискретизации до 500 кГц.

SAR-АЦП характеризуются разрядностью 12-18 бит, частотами дискретизации до 10 МГц, в них отсутствует конвейерная задержка, часто используются в системах с мультиплексированием, имеют невысокую стоимость, используются в приложениях сбора данных, промышленных измерениях, для визуализации КМОП-структур.

На рис. 4 представлено изменение динамических параметров SINAD и SFDR от уровня воздействия для различных условий: на рис. 4а частота входного синусоидального сигнала была фиксированной, а частота дискретизации изменялась от 10 до 500 кГц. Далее фиксировалась частота преобразования АЦП и измерялись динамические характеристики для входных синусоидальных сигналов в диапазоне от 5 до 511 кГц (рис. 4б).



а)



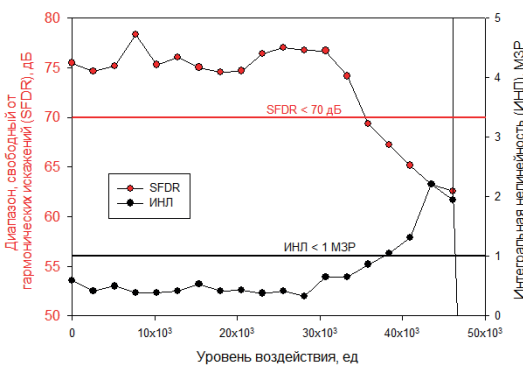
б)

Рис. 4. График изменения SINAD для фиксированной частоты входного сигнала (а) и SFDR для фиксированной частоты дискретизации (б) при воздействии ИИ КП

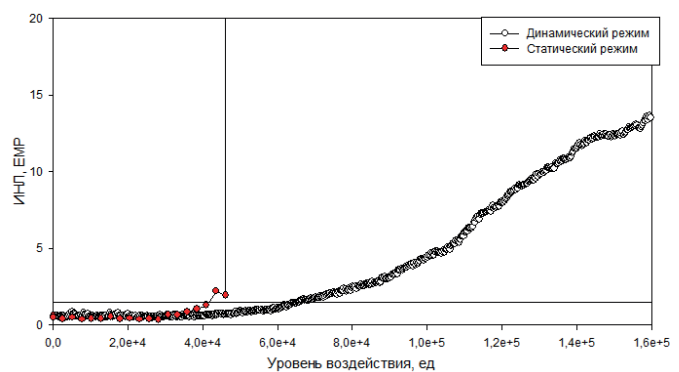
Из приведенных зависимостей видно, что для данной архитектуры отсутствуют зависимости скорости деградации динамических параметров от частоты дискретизации и от частоты входного сигнала, динамические параметры начинают деградировать только после ухудшения ИНЛ (рис. 5а). Таким образом, для данной архитектуры существующая методика контроля параметров во время воздействия стационарного ИИ КП с контролем только статических характеристик покажет достоверный уровень радиационной стойкости.

На рис. 5б представлено сравнение деградации ИНЛ для двух образцов, облучавшихся в статическом и динамическом режимах. Разница в уровнях стойкости по функциональному отказу (полное прекращение функ-

ционирования преобразователя) составляет более, чем 4 раза, разница по параметрическому отказу (выход точностных параметров за установленные в документации границы) – около двух раз. Из-за многообразия конечных приложений и функциональных режимов, в которых преобразователь может потенциально работать в составе конечного устройства, существует потребность проводить исследования радиационного поведения АЦП при различных режимах функционирования (как минимум – полностью статический и полностью динамический режимы) для предоставления разработчикам конечных устройств на базе аналого-цифровых преобразователей исчерпывающей информации об их радиационной стойкости.



а)



б)

Рис. 5. Сравнение скоростей деградации статических и динамических характеристик SAR-АЦП (а) и сравнение скоростей деградации ИНЛ в статическом и динамическом режиме функционирования SAR-АЦП (б)

Заключение

В работе было проведено исследование радиационной стойкости аналого-цифровых преобразователей трех различных архитектур (параллельные, конвейерные и SAR-АЦП) в различных режимах работы, с многообразными конфигурациями входных сигналов и частот дискретизации. Предложена методика измерения и контроля критериальных параметров АЦП во время воздействия ИИ КП.

По результатам исследования было определено, что для каждой из архитектур наиболее чувствительными к эффектам поглощенной дозы от ИИ КП оказались ди-

намические параметры, характеризующие паразитные и гармонические искажения в спектре выходного сигнала (SFDR, SINAD, THD). Именно эти параметры представляют особую важность для большинства конечных приложений с аналого-цифровыми устройствами.

Существующая методика контроля только статических характеристик преобразователей показывает достоверные уровни радиационной стойкости только для одной из рассматриваемых архитектур (SAR-АЦП). Для других архитектур динамические характеристики деградируют намного раньше. Зафиксированные различия в уровнях стойкости составляет от 2 до 6 раз.

Также можно отметить, что нормативная база контроля и измерения точностных параметров характеристики преобразования АЦП [7] устарела. Требуется ее доработка в плане коррекции существующих методов измерения напряжений межкодовых переходов и создании двух новых методов для измерения динамических параметров преобразователей и для измерения статических параметров АЦП, для которых невозможно или непрактично проводить измерение всех межкодовых переходов (например, для высокозарядных сигма-дельта АЦП разрядностью более 14 бит).

Литература

1. Kester W. Analog-Digital Conversion, M.: Tehnosfera, 2007, ch. 5, pp. 28-74.
2. «IEEE Standard for Terminology and Test Methods for Analog-to-Digital Converters» in IEEE Std 1241-2010 (Revision of IEEE Std 1241-2000), vol., no., pp.1-139, 14 Jan. 2011, doi: 10.1109/IEEESTD.2011.5692956.
3. Torshin R.S., Sorokoumov G.S., Bobrovsky D.V., Titovets D.O., and Kalashnikova M.O. «Measurement of Parameters of Analog-to-Digital Converters Based on the NI Hardware-Software Complex in the Course of a Radiation Experiment», 2021 International Siberian Conference on Control and Communications (SIBCON), pp. 1-4, 2021; doi: 10.1109 / SIBCON50419.2021.9438886.
4. Torshin R.S., Sorokoumov G.S., Bobrovsky D.V., Demidov A.A. and Ulanova A.V. «Measurement of critical parameters of analog-to-digital converters and control of their changes during a radiation experiment», Security of information technologies, vol. 27, no. 3, pp. 76–88, 2020; doi: <http://dx.doi.org/10.26583/bit.2020.3.07>.
5. Torshin R., Bobrovsky D., Ulanova A., Sorokoumov G., Kalashnikova M. and Titovets D. «Total Ionizing Dose Effects in High-Speed 16-bit Analog-to-Digital Converter», 2022 Moscow Workshop on Electronic and Networking Technologies (MWENT), Moscow, Russian Federation, 2022, pp. 1-3, doi: 10.1109/MWENT55238.2022.9802427.
6. Калашникова М.О., Торшин Р.С., Сорокоумов Г.С., Демидов А.А., Бойченко Д.В. «Зависимость спектральных характеристик сигма-дельта аналого-цифровых преобразователей от поглощенной дозы ионизирующего излучения», Безопасность информационных технологий, [S.I.], v. 30, n. 2, p. 127–141, 2023. ISSN 2074-7136. <http://dx.doi.org/10.26583/bit.2023.2.09>.
7. ОСТ 11 0078.3 «Микросхемы интегральные. Аналого-цифровые преобразователи. Методы измерения параметров характеристики преобразования».

УДК 47.14.07

СЕРИЯ МИКРОСХЕМ ЗАЩИТЫ ОТ ВОЗНИКНОВЕНИЯ ТИРИСТОРНОГО ЭФФЕКТА

A SERIES OF THYRISTOR EFFECT PROTECTION INTEGRATED CIRCUITS

Денисов А.Н., к. т. н., начальник НИЛ перспективной ЭКБ ОИМ, главный конструктор ИМС,
Федоров Р.А., к. т. н., начальник НИЛ разработки А-Ц БИС ОИМ, НПК «Технологический центр», +7 (499) 720-87-93,
+7 (499) 736-95-23, +7 (499) 720-89-92, kovcheg@tcen.ru

Denisov A.N., Candidate of Technical Sciences, Head of the NIL of the promising ECB of the OIM, chief designer of the IMS,
Fedorov R.A., Candidate of Technical Sciences, head of the NIL of the development of A-C BIS of the OIM, NPK "Technological Center", +7 (499) 720-87-93, +7 (499) 736-95-23, +7 (499) 720-89-92, kovcheg@tcen.ru

Аннотация. Использование элементной базы на основе КМОП-технологии позволяет добиваться широких функциональных возможностей, высокого быстродействия и низкого энергопотребления в электронных устройствах специального назначения. Однако под воздействием ионизирующих излучений из-за особенностей технологического процесса изготовления в микросхемах образуются паразитные p-n-p-n структуры, в которых может возникать эффект защелкивания, или тиристорный эффект, который приводит к необратимому возрастанию тока потребления вплоть до полного выгорания прибора. В данной статье приводится практическое решение проблемы парирования тиристорного эффекта через контроль тока потребления защищаемых микросхем по падению напряжения резистивного шунта в цепи питания.

Annotation. The use of elements based on CMOS technology makes it possible to achieve broad functionality, high performance and low power consumption in special-purpose electronic devices. However, under the influence of ionizing radiation, due to the peculiarities of the manufacturing process, parasitic p-n-p-n structures are formed in integrated circuits, in which a latch effect or thyristor effect can occur, which leads to an irreversible increase in current consumption until the device completely burns out. This article provides a practical solution to the problem of countering the thyristor effect by monitoring the current consumption of protected integrated circuits by the voltage drop of the resistive shunt in the power circuit.

Ключевые слова: микросхема, тиристорный эффект, радиоэлектронная аппаратура для космического применения.

Keywords: integrated circuit, thyristor effect, radio-electronic equipment for space applications.

Научная специальность: 2.2.2. Электронная компонентная база микро- и наноэлектроники, квантовых устройств.

Введение

При разработке радиоэлектронной аппаратуры для космического применения разработчики сталкиваются с проблемой возникновения тиристорного эффекта. Для предупреждения возникновения тиристорного эффекта можно применять конструктивные (увеличение длины базы транзистора за счет разнесения транзисторов друг от друга с уменьшением плотности упаковки кристалла) и технологические методы (увеличение уровней легирования подложки и кармана для снижения подвижности носителей заряда). Но такие решения снижают скорость работы основных транзисторов. Специалисты НПК «Технологический центр» предложили перспективный подход к парированию тиристорного эффекта, заключающийся в контроле тока потребления защищаемых микросхем по падению напряжения резистивного шунта в цепи питания, который осуществляется с помощью микросхемы защиты.

Основная часть

Для защиты аппаратуры от возникновения тиристорного эффекта специалистами НПК «Технологический центр» были разработаны микросхемы 1469TK025 на основе КМОП-технологии «кремний на изоляторе» с топологическими нормами 0,25 мкм и 1469TK035 на основе КМОП-технологии «объемный кремний» с топологическими нормами 0,25 мкм.

Микросхема устанавливается в цепь питания, и при превышении заданного уровня тока потребления питание защищаемой цепи отключается. В штатном режиме микросхема:

- отслеживает падение напряжения на резисторе $R_{изм}$ (датчике тока), включенном между выводами Vdd и Sense-;
- осуществляет ограничение тока нагрузки, если падение напряжения на датчике тока превышает порог срабатывания защиты;
- восстанавливает питание защищаемой цепи, если после ограничения тока падение напряжения на датчике тока становится менее напряжения порога отпускания защиты;
- полностью отключает питание защищаемой цепи,



Денисов А.Н.



Федоров Р.А.

если падение напряжения на датчике тока превышает напряжение порога срабатывания защиты более заданного времени;

- восстанавливает питание через заданный интервал времени с момента полного отключения питания защищаемой цепи;
- при разрешении работы сторожевого таймера, отслеживает наличие импульсов на его входе и, если в течение заданного времени импульсы отсутствуют, отключает питание защищаемой цепи, и через заданный интервал времени восстанавливает питание;
- имеет возможность продолжать работу при кратковременных сбоях питания.

Номинал резистора $R_{изм}$ определяет ток срабатывания защиты и рассчитывается с учетом порога срабатывания защиты по формуле (1):

$$R_{изм} = U_{ТЛР} / I_{защ}, \quad (1)$$

где $R_{изм}$ – сопротивление резистора датчика тока, Ом;
 $U_{ТЛР}$ – напряжение порога срабатывания защиты, В (см. таблицу 1);
 $I_{защ}$ – ток срабатывания защиты, А.

Выбирать сопротивление резистора датчика тока необходимо с учетом переходных процессов и динамического потребления в защищаемой цепи. Падение напряжения на резисторе $R_{изм}$ при номинальном токе в защищаемой цепи не должно превышать порог отпускания защиты $U_{ТНС}$ (см. таблицу 1). Падение напряжения на резисторе $R_{изм}$ при максимальном токе потребления в течение времени большего времени задержки срабатывания защиты $T_{прот}$ не должно превышать $U_{ТЛР}$.

Таблица 1

Значения порогов срабатывания/отключения схем

Условное обозначение микросхемы	Классификационные параметры в нормальных климатических условиях (буквенное обозначение, единица измерения, режим измерения)			
	Порог срабатывания схемы защиты по входу $U_{ТЛР}$, мВ, при напряжении питания 3,3 В		Порог отключения схемы защиты $U_{ТНС}$, мВ, при напряжении питания 3,3 В	
	не менее	не более	не менее	не более
1469TK025	80	120	70	110
1469TK035				

Устанавливать период срабатывания сторожевого таймера T_{wd} следует с учетом того, что полный цикл отключения и последующего восстановления питания в защищаемой цепи будет составлять $2 \cdot T_{wd}$. Для исключения

срабатывания защиты по сторожевому таймеру на входе WDI микросхемы необходимо формировать положительный импульс с периодом, меньшим T_{wd} и длительностью не менее $T_{wd} / 30$.

Время задержки срабатывания защиты по току T_{PROT} и по сторожевому таймеру T_{WD} определяется емкостью внешних конденсаторов, задающих частоту соответствующих генераторов микросхемы.

Предусмотрена возможность внешнего управления микросхемой с помощью выводов PWoff, Control и WD_En. Микросхема имеет два информационных выхода, позволяющих внешним системам управления определять события срабатывания защиты от тиристорного защелкивания (выход Compare) и по истечении времени ожидания сторожевого таймера (выход WD_St).

Функциональная блок-схема микросхемы приведена на рис. 1.

В состав микросхемы входят следующие основные узлы:

COMP1 – внутренний компаратор питания, отслеживает превышение напряжения на выводе Vdd_C относительно напряжения на выводе Vdd,

TH2 – супервизор питания на выводе Vdd,

TH1 – супервизор питания на шине Vdd_C,

COMP2 – внутренний компаратор датчика тока, OU1 – усилитель,

G1 – генератор тактовой частоты схемы управления защитой по току, частота задается встроенным и внешним конденсатором, подключаемым к выводу Cap_LP,

G2 – генератор тактовой частоты сторожевого таймера, частота задается встроенным и внешним конденсатором, подключаемым к выводу Cap_WD,

CO – блок управления.

Пороговое значение тока нагрузки, при котором срабатывает защита от тиристорного эффекта, задается сопротивлением низкоомного резистора $R_{ИЗМ}$ в цепи питания, включенного между входами Vdd и Sense-. При превышении на резисторе $R_{ИЗМ}$ порогового значения напряжения срабатывания защиты, COMP2 выдает на блок управления CO сигнал к началу ограничения тока нагрузки, на выводе Compare появляется низкий логический уровень. Вывод Compare можно использовать для проверки правильности выбора датчика тока.

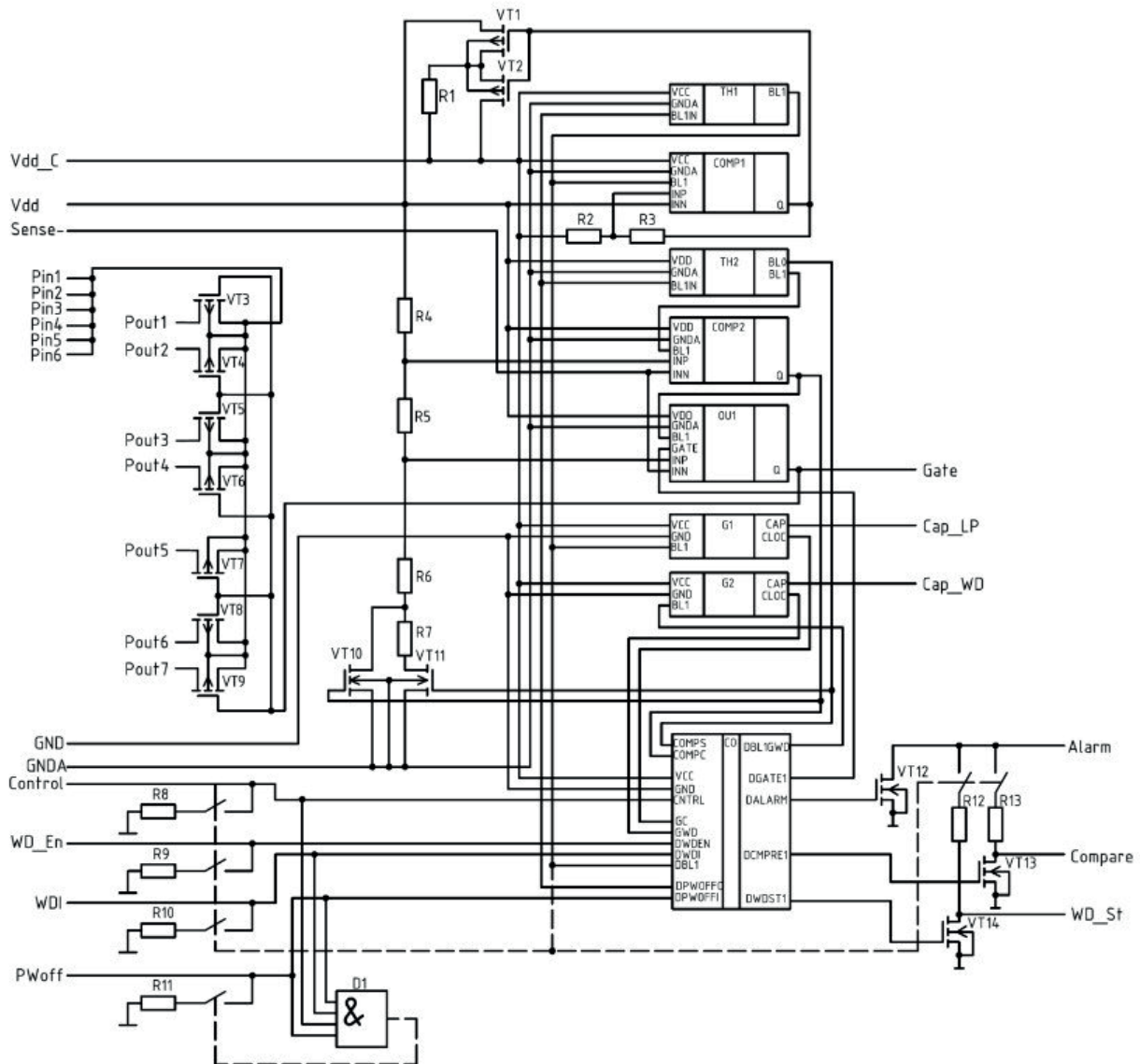


Рис.1. Функциональная блок-схема микросхемы

На рис. 2 показан пример временной диаграммы работы микросхемы при защите от тиристорного защелкивания. Если длительность сигнала Compare не превышает время T_{PROT} (как показано на левой части рис. 2: $t_1 < T_{PROT}$), то происходит ограничение тока в защищаемой цепи на время t_1 , а затем сигналы Compare и Gate возвращаются в исходное состояние и питание защищаемой цепи восстанавливается.

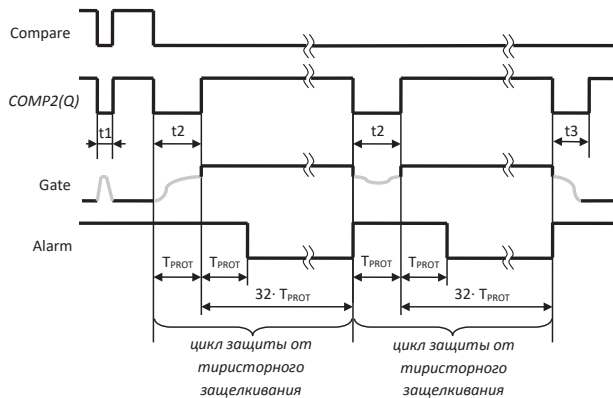


Рис. 2. Пример временной диаграммы работы микросхемы при защите от тиристорного защелкивания

Если сигнал Q от COMP2 о превышении порогового значения U_{TLP} длится больше времени T_{PROT} (центральная часть рис. 2), то схема управления защитой по току выдает на усилитель OU1 сигнал блокировки, который выдает на вывод микросхемы Gate высокий логический уровень, таким образом происходит полное отключение питания защищаемой цепи. При этом сигнал на выводе микросхемы Compare переходит в состояние низкого логического уровня. Высокий уровень на выходе Compare может быть восстановлен подачей высокого логического уровня на вход Control длительностью не менее T_{PROT} , или высоким логическим уровнем на вход PWoff длительностью не менее 1 мкс, или сбросом микросхемы по питанию.

Через время, равное T_{PROT} , схема управления устанавливает низкий логический уровень на внешнем выводе Alarm посредством внутреннего ключа на основе n-канального МОП-транзистора и обеспечивает шунтирование защищаемой цепи питания. Вывод Alarm предназначен для снятия остаточного напряжения после отключения питания с защищаемой цепи, которое может привести к поддержанию тиристорного эффекта паразитными токами. Для предотвращения выгорания ключа на выводе Alarm рекомендуемая суммарная емкость нагрузки не должна превышать 100 мкФ.

По истечении времени $32 \cdot T_{PROT}$ с момента отключения питания нагрузки схема управления восстанавливает высокий логический уровень сигналов Alarm и Gate, усилитель OU1 переходит в нормальный режим работы с возможностью ограничения тока нагрузки. На этом цикл защиты от тиристорного защелкивания заканчивается. Если при последующем включении питания защищаемой цепи наблюдается повышенный ток в течение времени T_{PROT} , то происходит повторение цикла защиты от тири-

сторного защелкивания. Полное восстановление нормального питания защищаемой цепи произойдет при условии спада тока защищаемой цепи ниже порогового уровня отпускания защиты (как показано на правой части рис. 2 в течение времени t_3).

При включении питания защищаемой цепи из-за зарядки конденсаторов фильтра питания возможен бросок тока потребления, превышающий порог срабатывания схемы защиты от тиристорного эффекта. Чтобы избежать ошибочного отключения питания, следует выбирать T_{PROT} большим, чем длительность пика тока потребления (на рис. 2: $t_3 < T_{PROT}$).

При низком логическом уровне на внешнем входе WD_En разрешается работа сторожевого таймера. Блокировка сторожевого таймера осуществляется высоким логическим уровнем WD_En или срабатыванием защиты от тиристорного защелкивания. На рис. 3 показан пример временной диаграммы работы сторожевого таймера микросхемы.

При включенном сторожевом таймере подача на вход WDI импульсов шириной не менее $T_{WD}/30$ и периодом не более T_{WD} сбрасывает внутренний счетчик, и отключение питания в защищаемой цепи не производится (как показано на левой части рис. 3: $t_4 < T_{WD}$). Если за время T_{WD} период сигнала WDI не завершается, то срабатывает сторожевой таймер и выполняет цикл отключения защищаемой цепи. При срабатывании сторожевого таймера устанавливается низкий логический уровень на выходе микросхемы WD_St. Высокий уровень на выходе WD_St может быть восстановлен подачей высокого логического уровня на вход Control длительностью не менее T_{PROT} , или высоким логическим уровнем на вход PWoff длительностью не менее 1 мкс, или сбросом микросхемы по питанию.

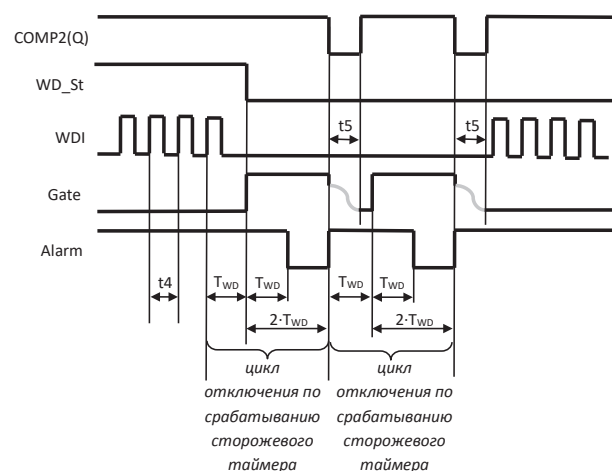


Рис. 3. Пример временной диаграммы функционирования сторожевого таймера

По истечении времени T_{WD} с момента срабатывания сторожевого таймера формируется низкий логический уровень на выводе Alarm. Длительность отключения питания защищаемой цепи с момента срабатывания сторожевого таймера равна $2T_{WD}$. После этого сигнал Alarm возвращается в состояние высокого логического уровня и питание защищаемой цепи восстанавливается. На рис. 3: $t_5 < T_{WD}$ –

время включения питания с кратковременным превышением тока зарядки конденсатора защищаемой цепи.

Если на вход WDI по-прежнему не поступает периодический сигнал сброса, то цикл отключения по срабатыванию сторожевого таймера повторится через T_{WD} .

Появление низкого уровня на внешнем входе WD_En приводит к выключению сторожевого таймера, т. е. производит немедленное восстановление питания защищаемой цепи, но не влияет на низкий уровень сигнала WD_St.

Высокий уровень на входе PWoff возвращает в исходное состояние все узлы микросхемы, отключает внутренние резисторы доопределения с выводов WD_En, WDI, Control, Compare, WD_St и устанавливает выходы микросхемы в третье логическое состояние «Отключено». При этом вывод Gate принимает состояние высокого логического уровня, который приводит к отключению питания защищаемой цепи. Если при этом дополнительно подать высокий уровень на входы WDI, WD_En и Control, то происходит отключение внутреннего резистора доопределения на самом входе PWoff. Комбинация из одновременных высоких уровней на входах WDI, WD_En, Control и PWoff является тестовой и используется для контроля токов утечки при изготовлении микросхемы.

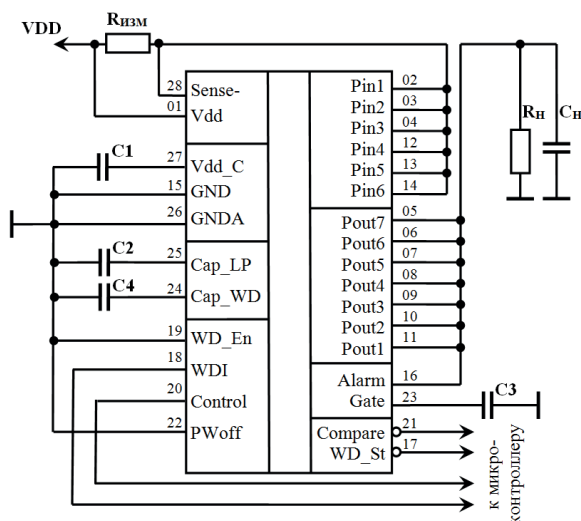


Рис. 4. Рекомендуемая схема включения микросхемы при включенной функции сторожевого таймера

$R_{изм}$ - низкоомный резистор. Предназначен для отслеживания уровня, потребляемого нагрузкой тока. Рассчитывается по формуле (1).

$R_н, C_н$ - эквивалентная нагрузка. Рекомендуемая суммарная емкость нагрузки не должна превышать 100 мкФ.

C1 - конденсатор керамический или полярный электролитический номиналом не менее 0,3 мкФ и рабочим напряжением не менее 10 В. Обеспечивает временное функционирование микросхемы при нарушении работы основного источника питания Vdd. C1 рекомендуется располагать в непосредственной близости между выводами Vdd и выводами GND (0B). C2 - внешний конденсатор определяющий частоту тактового генератора, синхронизирующего работу схемы управления защитой от тиристорного защелкивания. Рассчитывается по формуле: $C1[нФ]=T_{прот}/11,2 [мс]$. Зависимости времени задержки срабатывания защиты $T_{прот}$ от номинала C2 представлены на рис. 8 и 9.

C3 - конденсатор на затворе управления внутренним ключом защиты для подавления высокочастотных помех. Рекомендуемое значение 2 нФ.

C4 - внешний конденсатор сторожевого таймера, определяющий частоту тактового генератора сторожевого таймера. Рассчитывается по формуле: $C1[нФ]=T_{wd}/112[мс]$. Зависимость времени T_{wd} срабатывания сторожевого таймера от номинала внешнего регулировочного конденсатора C4 на выводе Cap_WD представлена на рис. 12 и -13.

Следует обратить внимание, что для предотвращения самопроизвольного включения тестового режима при включении питания рекомендуется снаружи на любой из входов WDI, WD_En, Control или на все подать низкий уровень.

Функционирование восстанавливается по низкому уровню на входе PWoff.

Для индикации состояния микросхемы используются два выхода: выход Compare позволяет определить, имел ли место факт срабатывания защиты по току, а выход WD_St позволяет определить имел ли, место факт срабатывания защиты по истечении времени ожидания сторожевого таймера.

Рекомендуемая схема включения микросхемы при включенной функции сторожевого таймера приведена на рис. 4.

Мощность источника питания рассчитывается по формуле (2):

$$W = U_{CC} \cdot (2 \cdot U_{TPL} / R_{изм}). \quad (2)$$

Рекомендуемая схема включения микросхемы при выключенной функции сторожевого таймера приведены на рис. 5.

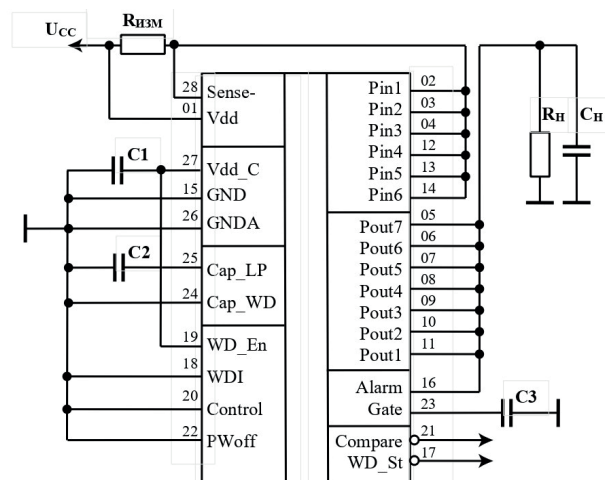


Рис. 5. Рекомендуемая схема включения микросхемы при отключенной функции сторожевого таймера

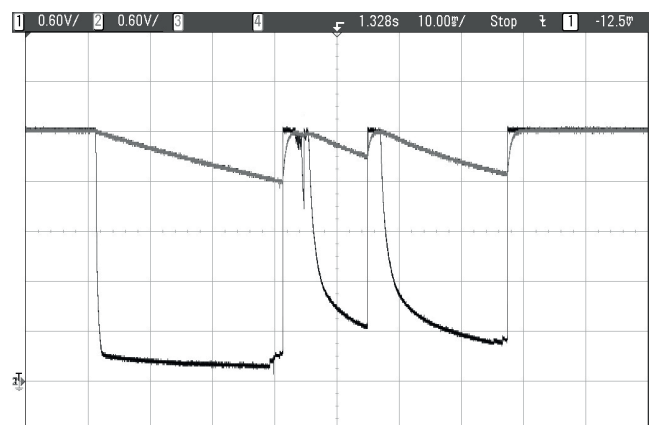


Рис. 6. Пример осциллограммы напряжений на выводах Vdd и Vdd_C при нарушениях питания (черный — Vdd, серый — Vdd_C, C1=10 мкФ)

Поскольку существует вероятность кратковременного нарушения питания под воздействием радиационных факторов, предусмотрена возможность резервного питания микросхемы от дополнительного внешнего конденсатора, подключаемого к выводу Vdd_C. Основной источник питания подключается к выводу Vdd. При штатном функционировании основного источника ток протекает через р-канальные МОП транзисторы между выводами Vdd_C и Vdd. При снижении напряжения на выводе Vdd внутренний компаратор COMP1 срабатывает и закрывает р-канальные МОП транзисторы, после чего питание микросхемы поддерживается за счет внешнего конденсатора C1. Номинал конденсатора C1 определяет время автономного функционирования микросхемы. Примеры осциллограмм напряжений на выводах Vdd и Vdd_C при нарушении и аварии питания микросхемы приведены на рис. 6 и 7.

На рис. 7 видно, что момент срабатывания внутреннего супервизора питания TH1 произошел через 180 мс после отключения напряжения питания на выводе Vdd.

Зависимость времени задержки срабатывания защиты T_{PROT} от номинала внешнего регулировочного конденсатора на выводе Cap_LP представлена на рис. 8 и 9.

Зависимость времени задержки срабатывания сторожевого таймера T_{WD} от номинала внешнего регулировочного конденсатора на выводе Cap_WD представлена на рис. 10 и 11.

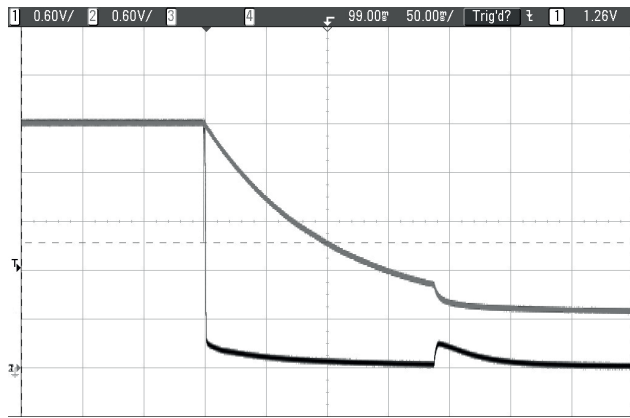


Рис. 7. Пример осциллограммы напряжений на выводах Vdd и Vdd_C при аварии питания (черный — Vdd, серый — Vdd_C, C1=10 мкФ)

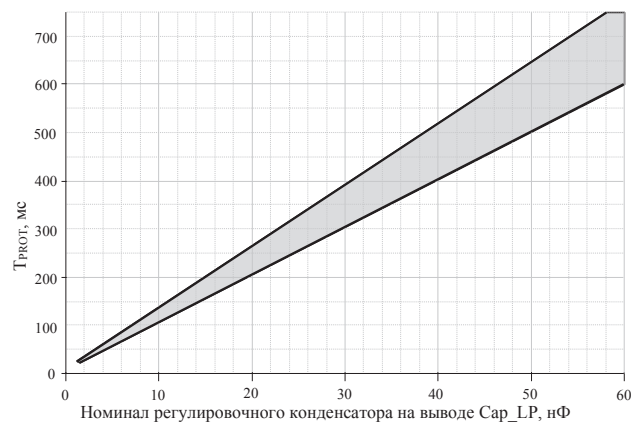


Рис. 8. Зависимость времени задержки срабатывания защиты T_{PROT} от номинала внешнего регулировочного конденсатора на выводе Cap_LP

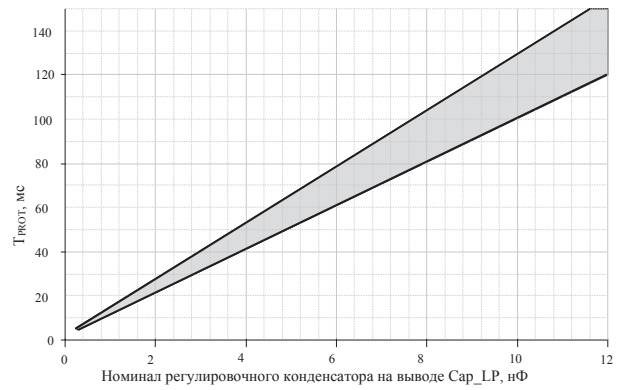


Рис. 9. Зависимость времени задержки срабатывания защиты T_{PROT} от номинала внешнего регулировочного конденсатора на выводе Cap_LP

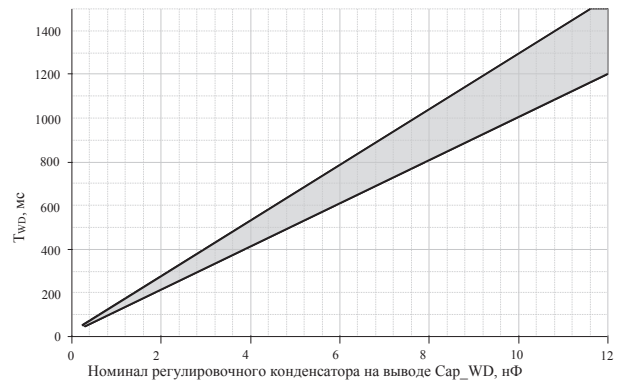


Рис. 10. Зависимость времени задержки срабатывания сторожевого таймера T_{WD} от номинала внешнего регулировочного конденсатора на выводе Cap_WD



Рис. 11. Зависимость времени задержки срабатывания сторожевого таймера T_{WD} от номинала внешнего регулировочного конденсатора на выводе Cap_WD

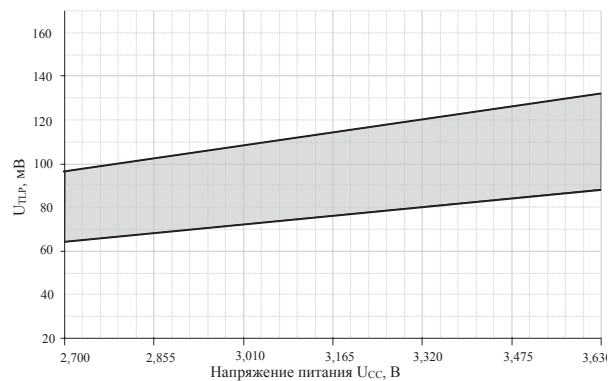


Рис. 12. Зависимость напряжения порога срабатывания схемы защиты U_{TLP} от напряжения питания U_{CC}

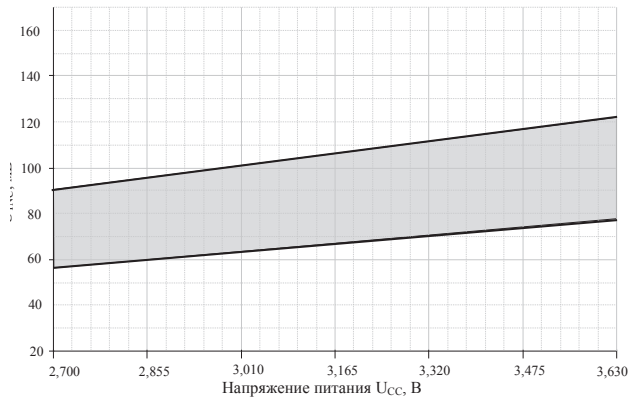


Рис. 13. Зависимость напряжения порога отключения схемы защиты U_{TNC} от напряжения питания U_{CC}

Зависимость напряжения порога срабатывания схемы защиты U_{TLP} от напряжения питания U_{CC} представлена на рис. 12. Зависимость напряжения порога отключения схемы защиты U_{TNC} от напряжения питания U_{CC} представлена на рис. 13.

УДК 658.711.4

МЕТОДИКА ОЦЕНКИ И ОБОСНОВАНИЯ ВЫБОРА ПОСТАВЩИКОВ ЭЛЕКТРОННОЙ КОМПОНЕНТНОЙ БАЗЫ

METHODOLOGY OF EVALUATION AND SELECTION OF SUPPLIERS OF ELECTRONIC COMPONENT BASE

Шведов А.В., заместитель генерального директора по качеству ООО «ВИТАЛ ЭЛЕКТРОНИКС ВП»,
+7 (911) 762-21-81, shvedov@vital-ic.com

Shvedov A.V., Deputy General Director for Quality of VITAL ELECTRONICS VP LLC, +7 (911) 762-21-81, shvedov@vital-ic.com

Аннотация. В статье предлагается методика оценки и обоснования выбора поставщиков электронной компонентной базы (ЭКБ), которая ориентирована для применения квалифицированными поставщиками ЭКБ при проведении первичной и периодической (повторной) оценки внешних поставщиков продукции, а также может быть использована предприятиями-изготовителями ЭКБ и аппаратуры, с учетом адаптации методики, в соответствии с требованиями к организации закупочной деятельности.

Annotation. The article proposes a methodology for evaluating and justifying the selection of suppliers of electronic component base (ECB), which is oriented for use by qualified ECB suppliers during the primary and periodic (repeated) evaluation of external suppliers of products, and can also be used by manufacturers of ECB and equipment, taking into account the adaptation of the methodology, in accordance with the requirements for the organization of procurement activities.

Ключевые слова: система менеджмента качества; критерии выбора поставщиков продукции; первичная и периодическая оценка поставщиков продукции; квалифицированные поставщики электронной компонентной базы.

Keywords: quality management system; criteria for selecting suppliers of products; initial and periodic evaluation of suppliers of products; qualified suppliers of electronic component base.

Научная специальность: 2.5.22. Управление качеством продукции. Стандартизация. Организация производства.

Введение

Среди предприятий радиоэлектронной промышленности, помимо разработчиков и изготовителей электронной компонентной базы (далее – ЭКБ), особое место в цепочке поставок и обеспечения комплек-

тования высокотехнологичной аппаратуры широкого спектра назначения, занимают квалифицированные поставщики электронной компонентной базы (далее – КвП ЭКБ), деятельность которых, организована с учетом требований [1].

Заключение

В статье описан принцип работы микросхем защиты от возникновения тиристорного эффекта. Представлены режимы работы микросхем при условии возникновения тиристорного эффекта.

Микросхемы защиты от тиристорного эффекта разрешены для применения в специальной аппаратуре. Протоколы испытаний к воздействиям специальных факторов высылаются по запросу на почту: kovcheg@tcen.ru.

Литература

1. Чумаков Е.И., Качур Д.К., Соловьёв С.В., Верхотуров В.И. Микросхема радиационной защиты. Полезная модель № 110543. Бюлл. № 32, 20.11.2011.
2. Фильцер И.Г. Устройство для защиты интегральных микросхем от тиристорного эффекта. Патент № 2510893. Бюлл. № 10, 10.04.2014.
3. Микросхемы для аппаратуры космического назначения. Практическое пособие, 2016 г. Под общей ред. Саурова А.Н. / авторы: Коняхин В.В., Денисов А.Н., Федоров Р.А., Вильсон А.Л., Бражников С.С., Коновалов В.С., Малашевич Н.И., Росляков А.С.

В зависимости от вида закупаемой и поставляемой ЭКБ можно построить общие системы взаимоотношений между производителями, поставщиками и потребителями [1, 2], которые приведены для ЭКБ отечественного производства (далее – ЭКБ ОП), и ЭКБ производства стран-участников Содружества Независимых Государств (далее – ЭКБ СНГ) на рис. 1, а для ЭКБ иностранного производства (далее – ЭКБ ИП) – на рис. 2.



Рис. 1. Общая система взаимоотношений между производителями, поставщиками и потребителями ЭКБ ОП (СНГ)



Рис. 2. Общая система взаимоотношений между производителями, поставщиками и потребителями ЭКБ ИП

В приведенных общих системах квалифицированный поставщик ЭКБ выступает по отношению к изготовителю ЭКБ ОП (СНГ) и фирме-импортеру ЭКБ ИП (дистрибьютору) в качестве потребителя [1, 2]. Также закупка продукции КвП ЭКБ может, при необходимости, осуществляться и у других КвП ЭКБ, с учетом требований, изложенных в пункте 7.2.17 [1].

Именно закупка ЭКБ, является одним из главных элементов деятельности КвП ЭКБ, поэтому важно ответственно подойти к процедуре оценки и выбора внешних поставщиков. При безответственном и формальном подходе к закупочной деятельности повышается вероятность возникновения риска поставки несоответствующей продукции, в том числе имеющей признаки контрафактного происхождения, что в конечном счете неизбежно приводит к невыполнению требований потребителя ЭКБ и оборачивается финансовыми и репутационными потерями для КвП ЭКБ [1, 3]. Результаты оценки качества поставляемой ЭКБ учитываются при решении вопросов об аннулировании или приостановке действия Свидетельства о квалификации поставщика ЭКБ [1].

Основная часть

Задача о необходимости разработки методики оценки и обоснования выбора поставщиков электронной компонентной базы (далее – методики) не является новой. Для КвП ЭКБ — это требование прописано в основополагающих межгосударственных и национальных стандартах, документах по стандартизации оборонной продукции (далее – ДСОП) и руководящих документах (далее – РД):

- в пункте 8.4.1 ГОСТ Р ИСО 9001-2015;
- в пунктах 8.4.1.1 и 8.4.1.5 ГОСТ РВ 0015-002-2020;
- в пунктах 8.4.1.1, 8.4.1.6 и 8.4.1.9 ГОСТ РВ 0020-57.412-2020;
- в пункте 4.4.1.1 ЭС РД 009-2023;
- в пункте 6.1 ЭС РД 010-2020.



Шведов А.В.

Но несмотря на это, при проведении аудитов (потребителями, органами по сертификации и др.) выявляются следующие несоответствия, связанные с организацией закупочной деятельности:

- «не разработана методика и не установлены критерии по выбору поставщиков ЭКБ»;
- «не регистрируются сведения о результатах первичной и периодической (повторной) оценки поставщиков ЭКБ»;
- «не ведется реестр поставщиков ЭКБ» и др.

В ходе аудита можно столкнуться и с тем, что формально в Организации разработана методика, но либо критерии не учитывают требований руководящих документов [1, 4], либо критерии разработаны таким образом, что получение объективных свидетельств о поставщике возможно только при проведении аудита второй стороны (потребителем), который в свою очередь не проводится. Таким образом повышается вероятность возникновения риска, связанного с неверным выбором поставщика ЭКБ.

Поэтому с этой точки зрения задачу по разработке и совершенствованию методики можно считать крайне актуальной.

Поиск внешних поставщиков ЭКБ осуществляется коммерческими подразделениями КвП ЭКБ (маркетинговый отдел, отдел закупок и др.):

- при посещении специализированных отраслевых выставок;
- при анализе официальных сайтов изготовителей и поставщиков ЭКБ;
- при анализе рекламных материалов, опубликованных в отраслевых печатных и электронных изданиях.

КвП ЭКБ при выборе внешних поставщиков продукции необходимо оценить статус поставщика и его способность осуществить поставку ЭКБ требуемого качества, в установленные сроки, по наиболее выгодной цене. Кроме того, необходимо учитывать требования, установленные в пунктах 5.2, 5.3, 5.4 руководящего документа [1].

Предлагаемая система оценки поставщиков заключается в том, что все поставщики, обеспечивающие КвП ЭКБ продукцией, проходят оценку в соответствии с критериями [3, 5, 6], приведенными в таблице 1. При этом оценку поставщиков можно условно разделить на первичную и периодическую (повторную).

Таблица 1

Критерии оценки поставщиков ЭКБ и их коэффициенты значимости

Критерии оценки поставщика ЭКБ	Коэффициент значимости критериев оценки
1	2
К₁¹ – чистота юридического оформления поставщика ЭКБ 1 балл – нет замечаний к чистоте юридического оформления: отсутствуют сведения о наличии исполнительных производств, арбитражных дел; не обнаружено признаков банкротства; деятельность прибыльна; налоговая отчетность предоставляется своевременно; нет упоминаний в особых реестрах; 0 баллов – есть замечания к чистоте юридического оформления.	$\lambda_{1 \text{ первичная}} = 0,2$ $\lambda_{1 \text{ периодическая}} = 0,2$
К₂ – продолжительность присутствия поставщика ЭКБ на рынке радиоэлектроники 1 балл – более 10 лет; 0,7 балла – 5-10 лет; 0,5 балла – менее 5 лет.	$\lambda_{2 \text{ первичная}} = 0,15$ $\lambda_{2 \text{ периодическая}} = 0,05$
К₃ – статус внешнего поставщика ЭКБ При оценке поставщика ЭКБ ОП (СНГ): 1 балл – изготовитель; 0,7 балла – поставщик (КвП ЭКБ, официальный представитель в России). При оценке поставщика ЭКБ ИП: 1 балла – официальный дистрибьютор или КвП ЭКБ; 0,7 балла – фирма-импортер.	$\lambda_{3 \text{ первичная}} = 0,05$ $\lambda_{3 \text{ периодическая}} = 0,04$
К₄² – наличие у поставщика SMK сертифицированной, на соответствие требованиям ГОСТ Р ИСО 9001 и (или) документов по стандартизации оборонной продукции, руководящих документов 1 балл – SMK сертифицирована; 0,5 балла – нет сертифицированной SMK.	$\lambda_{4 \text{ первичная}} = 0,15$ $\lambda_{4 \text{ периодическая}} = 0,08$
К₅ – уникальность поставляемой номенклатуры ЭКБ 1 балл – уникальный по номенклатуре поставщик; 0,7 балла – есть ещё поставщики данной номенклатуры; 0,5 балла – поставщиков данной номенклатуры много.	$\lambda_{5 \text{ первичная}} = 0,15$ $\lambda_{5 \text{ периодическая}} = 0,08$
К₆ – уровень цен на ЭКБ 1 балл – низкие цены; 0,7 балла – приемлемые цены; 0,5 балла – высокие цены.	$\lambda_{6 \text{ первичная}} = 0,1$ $\lambda_{6 \text{ периодическая}} = 0,05$
К₇ – наличие складских запасов ЭКБ 1 балл – поставщик с увеличенным запасом продукции; 0,7 балла – поставщик с достаточным запасом продукции; 0,5 балла – ЭКБ поставляется (или изготавливается) «под заказ».	$\lambda_{7 \text{ первичная}} = 0,1$ $\lambda_{7 \text{ периодическая}} = 0,05$
К₈ – возможность отсрочки платежа 1 балл – предоставляется отсрочка платежа; 0,7 балла – работа только по предоплате	$\lambda_{8 \text{ первичная}} = 0,05$ $\lambda_{8 \text{ периодическая}} = 0,04$
К₉ – обеспечение доставки ЭКБ 1 балл – доставка до склада КвП ЭКБ; 0,7 балла – доставка до пункта транспортной компании; 0,5 балла – самовывоз.	$\lambda_{9 \text{ первичная}} = 0,05$ $\lambda_{9 \text{ периодическая}} = 0,03$
К₁₀ – соблюдение установленных сроков поставки ЭКБ 1 балл – поставка всегда в установленный срок; 0,7 балла – единичные случаи срыва поставок; 0,5 балла – частые проблемы с нарушением установленных сроков поставок.	$\lambda_{10 \text{ периодическая}} = 0,1$
К₁₁ – соблюдение гарантийных обязательств 1 балл – гарантийные обязательства соблюдаются; 0,7 балла – единичные случаи несоблюдения гарантийных обязательств; 0,5 балла – частые проблемы с несоблюдением гарантийных обязательств.	$\lambda_{11 \text{ периодическая}} = 0,1$
К₁₂ – профессиональные качества работы отдела закупок 1 балл – оцениваются положительно; 0,7 балла – оцениваются удовлетворительно; 0,5 балла – оцениваются неудовлетворительно.	$\lambda_{12 \text{ периодическая}} = 0,03$
К₁₃ – профессиональные качества работы службы качества 1 балл – оцениваются положительно; 0,7 балла – оцениваются удовлетворительно; 0,5 балла – оцениваются неудовлетворительно.	$\lambda_{13 \text{ периодическая}} = 0,03$
К₁₄³ – продолжительность работы с данным поставщиком 1 балл – более 10 лет; 0,7 балла – 5-10 лет; 0,5 балла – менее 5 лет.	$\lambda_{14 \text{ периодическая}} = 0,08$

Критерии оценки поставщика ЭКБ	Коэффициент значимости критериев оценки
1	2
<p>K₁₅ – информационно-техническое сопровождение поставок ЭКБ 1 балл – осуществляется, предоставляется информация по техническим и эксплуатационным характеристикам ЭКБ, предлагаются аналоги для ЭКБ, снятой с производства; 0,7 балла – осуществляется, предоставляется информация по техническим и эксплуатационным характеристикам ЭКБ, аналоги для ЭКБ, снятой с производства, не предлагаются; 0,5 балла – не осуществляется.</p>	$\lambda_{15 \text{ периодическая}} = 0,04$
<p>Примечание: 1. Положительное решение о возможности сотрудничества с поставщиком ЭКБ следует принимать при условии, что нет замечаний к чистоте юридического оформления поставщика ЭКБ. 2. При закупке ЭКБ ОП (СНГ) обязательно наличие у поставщика ЭКБ сертифицированной СМК, в системе добровольной сертификации, признанной государственным заказчиком ЭКБ. При выборе фирм-импортеров ЭКБ ИП предпочтение отдается Организациям, имеющим сертифицированную СМК. Если у предприятия СНГ СМК сертифицирована национальным органом сертификации, то это предприятие необходимо оценивать по критериям поставщика ЭКБ ИП. 3. Рейтинг для критерия K₁₄ приведен условно, так как он зависит от продолжительности деятельности Организации, осуществляющей оценку внешнего поставщика продукции.</p>	

Первичная оценка проводится, если она ранее не проводилась, до заключения контракта (договора) на поставку продукции (по критериям K₁ – K₉ таблицы 1). Периодическая (повторная) организуется и осуществляется, с установленной периодичностью, как правило 1 раз в год, в целях мониторинга и анализа выполнения ранее заключенных контрактов (договоров) на поставку продукции (по критериям K₁ – K₁₅ таблицы 1).

По каждому критерию выставляется своя рейтинговая оценка, которая выбирается на основании данных об оцениваемом поставщике. Поскольку задача по оценке поставщиков продукции, в приведенной методике, является многокритериальной, то каждому критерию соответствует коэффициент значимости, учитывающий уровень важности каждого из представленных критериев [3, 7]. При выполнении расчетов необходимо учитывать, что значения коэффициентов значимости для первичной и периодической (повторной) оценки поставщиков различны. Сумма коэффициентов значимости как для первичной, так и для периодической (повторной) оценки поставщика ЭКБ равна единице [3]. При необходимости каждая Организация, в соответствии с потребностями, может скорректировать систему оценки, уровень важности критериев K₁ – K₁₅, а также весовые значения коэффициентов значимости.

Ответственное подразделение (или должностное лицо) за сбор данных о поставщиках устанавливается в документированных процедурах системы менеджмента качества (далее – СМК) Организации.

Исходные данные для оценки поставщика ЭКБ можно получить путем официального запроса необходимых документов, а также при проведении аудита поставщика (аудита второй стороны). Основанием для проведения аудита поставщика могут являться требования межгосударственных и национальных стандартов, ДСОП и РД (при условии, что они внедрены у поставщика). Так же целесообразно предусмотреть юридическое основание для проведения аудита потребителем в предконтрактном соглашении или контракте (договоре) на закупку ЭКБ. Однако практика проведения аудитов второй стороны, ввиду территориальной удаленности поставщиков, ограниченности финансовых и временных ресурсов, проводится не во всех Организациях.

Нельзя не отметить, что исчерпывающую информацию

о чистоте юридического оформления поставщика (отсутствие сведений о наличии исполнительных производств, арбитражных дел; отсутствие признаков банкротства; сведения о своевременном предоставлении налоговой отчетности; отсутствие упоминаний в особых реестрах) можно получить путем использования программных сервисов по проверке контрагентов. Данные сервисы также предоставляют сведения о том, находится ли поставщик в санкционных списках, что очень актуально в настоящее время.

Расчет итоговых значений первичной и периодической (повторной) оценки поставщика ЭКБ предлагается осуществить методом средних взвешенных оценок.

Для расчета итоговой первичной оценки поставщика ЭКБ используется формула (1):

$$S_{\text{первичная}} = \frac{\sum_{i=1}^9 K_i \cdot \lambda_{i \text{ первичная}}}{\sum_{i=1}^9 \lambda_{i \text{ первичная}}}, \quad (1)$$

где S_{первичная} – итоговая первичная оценка поставщика ЭКБ;

K_i – значение оценки i-го критерия;

$\lambda_{i \text{ первичная}}$ – значение коэффициента значимости i-го критерия;

i – номер критерия.

Для расчета итоговой периодической (повторной) оценки поставщика ЭКБ используется формула (2):

$$S_{\text{периодическая}} = \frac{\sum_{i=1}^{15} K_i \cdot \lambda_{i \text{ периодическая}}}{\sum_{i=1}^{15} \lambda_{i \text{ периодическая}}}, \quad (2)$$

где S_{периодическая} – итоговая периодическая оценка поставщика ЭКБ;

K_i – значение оценки i-го критерия;

$\lambda_{i \text{ периодическая}}$ – значение коэффициента значимости i-го критерия;

i – номер критерия.

В дальнейшем полученное значение интерпретируется в соответствии с таблицей 2.

Таблица 2

Интерпретация результатов оценки поставщика ЭКБ

Количественное значение итоговой оценки поставщика ЭКБ	Степень соответствия поставщика ЭКБ	Действия, на основании результатов оценки поставщика ЭКБ
Для первичной оценки		
$S_{\text{первичная}} < 0,70$	3 группа «Поставщик ЭКБ не соответствует требованиям»	Отказ в сотрудничестве
$0,70 \leq S_{\text{первичная}} < 0,75$	2 группа «Поставщик ЭКБ соответствует требованиям частично»	Отказ в сотрудничестве
		Внесение поставщика в резерв
		Заключение договора (контракта) на закупку ЭКБ
$S_{\text{первичная}} \geq 0,75$	1 группа «Поставщик ЭКБ соответствует требованиям»	Заключение договора (контракта) на закупку ЭКБ
Для периодической (повторной) оценки		
$S_{\text{периодическая}} < 0,70$	3 группа «Поставщик ЭКБ не соответствует требованиям»	Отказ в сотрудничестве
$0,70 \leq S_{\text{периодическая}} < 0,75$	2 группа «Поставщик ЭКБ соответствует требованиям частично»	Отказ в сотрудничестве
		Внесение поставщика в резерв
		Продление (пролонгация) срока действия договора (контракта) на закупку ЭКБ
$S_{\text{периодическая}} \geq 0,75$	1 группа «Поставщик ЭКБ соответствует требованиям»	Продление (пролонгация) срока действия договора (контракта) на закупку ЭКБ

Рассмотрим пример расчета итоговой первичной оценки условного КвП ЭКБ ООО «Сигма» для оценки возможности закупки ЭКБ ИП.

Исходные данные: Поставщик ЭКБ не имеет замечаний к юридической чистоте оформления; присутствует на рынке радиоэлектроники менее 5 лет; имеет сертифицированную СМК; помимо данного поставщика ЭКБ, есть ещё

поставщики данной номенклатуры; поставщик предлагает приемлемые цены; имеет достаточный запас продукции на складе; работает только по предоплате; осуществляет доставку до склада.

Пример расчета итоговой первичной оценки, в соответствии с формулой 1:

$$S_{\text{первичная}} = \frac{0,2 + 0,075 + 0,05 + 0,15 + 0,105 + 0,07 + 0,07 + 0,035 + 0,05}{0,2 + 0,15 + 0,05 + 0,15 + 0,15 + 0,1 + 0,1 + 0,05 + 0,05} = 0,805.$$

Итоговая первичная оценка условного ООО «Сигма» составляет 0,805.

Интерпретировав полученное значение по таблице 2 можно сделать вывод о том, что поставщик ЭКБ соответствует требованиям и может быть внесен в реестр одобренных поставщиков ЭКБ и с ним возможно, с учетом оценки и анализа рисков, заключить договор (контракт) на закупку ЭКБ.

Таким образом, на основании проводимой оценки внешних поставщиков и интерпретации полученных значений можно осуществить градацию поставщиков по статусу (изготовитель, поставщик), степени соответствия, и сделать вывод о возможности внесения поставщика в реестр одобренных поставщиков ЭКБ. Варианты дальнейших действий, на основании оценок, также представлены в таблице 2.

Сведения о результатах оценки поставщиков ЭКБ необходимо регистрировать, для чего могут быть использованы листы первичной и периодической (повторной) оценки, форма которых устанавливается в документированных процедурах (стандартах, положениях, инструкциях) СМК Организации.

Заключение

Выбор поставщиков продукции – один из важнейших элементов закупочной деятельности. Приведенная в ста-

тье методика оценки и обоснования выбора поставщиков ЭКБ разработана с учетом требований, установленных в основополагающих межгосударственных и национальных стандартах и руководящих документах [1, 4], регламентирующих деятельность КвП ЭКБ. Для наиболее результативного проведения процедуры оценки и выбора поставщиков, при необходимости, методика может быть индивидуализирована в соответствии с потребностями конкретной Организации.

Литература:

1. ЭС РД 010-2020 «Требования к поставщикам электронной компонентной базы и порядок их квалификации».
2. ГОСТ Р 55754-2013 «Комплексная система контроля качества. Изделия электронной техники. Система взаимоотношений изготовителей и потребителей».
3. Булгаков О.Ю. Методика выбора квалифицированных поставщиков электронной компонентной базы // Радиоэлектронная отрасль: проблемы и их решения. 2021. № 4. С. 31–36.
4. ЭС РД 009-2023 «Дополнительные требования к системе менеджмента качества организаций-поставщиков электронной компонентной базы военного и двойного назначения».

- Мишура Л.Г., Васильева Ю.В. Оценка поставщика с учетом требований ГОСТ Р ИСО 9001//Экономика. Право. Инновации. 2020. №2. С. 4-9.
- Климов М.Н. Пищулин А.С. Методические рекомендации по оценке поставщиков товаров, работ, услуг при проведении аукционов, конкурсов и иных конкурентных закупочных процедур // Ракетно-космическое приборостроение и информационные системы. 2015. Том 2. № 2. С 69-73.
- Спиридонов С.Б., Булатова И.Г., Постников В.М. Анализ подходов к выбору весовых коэффициентов критериев методом парного сравнения критериев // Интернет-журнал «НАУКОВЕДЕНИЕ» Том 9, № 6 (2017) [электронный ресурс] – режим доступа: <https://naukovedenie.ru/PDF/16TVN617.pdf> – Загл. С экрана (дата обращения 05.07.2024).

УДК 621.3.019.3

ЗАДАНИЕ ПАРАМЕТРОВ УСЛОВИЙ ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ ДЛЯ ПОКАЗАТЕЛЕЙ БЕЗОТКАЗНОСТИ КОРПУСНЫХ ПОЛУПРОВОДНИКОВЫХ ИЗДЕЛИЙ

SETTING PARAMETERS OF ENVIRONMENTAL CONDITIONS FOR THE RELIABILITY INDICATORS OF THE CASE SEMICONDUCTOR PRODUCTS

Синельников Ю.Г., ведущий научный сотрудник отдела мониторинга производства,
Рыбаков А.К., специалист отдела исследования надёжности,
Денисова А.С., младший специалист отдела исследования надёжности, ФГБУ «ВНИИР»,
+7 (495) 586–17–21; sinelnikov@vniir-m.ru, rybakov@vniir-m.ru,

Sinelnikov Yu.G., leading researcher of the Production Monitoring Department,
Rybakov A.K., specialist of the Reliability Research Department,
Denisova A.S., Junior specialist of the Reliability Research Department, FGBI "VNIIR",
+7 (495) 586–17–21; sinelnikov@vniir-m.ru, rybakov@vniir-m.ru

Аннотация. В статье рассматриваются вопросы корректности задания температуры среды или температуры корпуса в требованиях к безотказности для корпусных полупроводниковых изделий. Проведенный в рамках статьи эксперимент показывает, что более корректным и объективным является задание температуры корпуса, так как при различной температуре окружающей среды температура корпуса может быть одинаковой. Приведённые в статье положения могут быть использованы при разработке технических требований на выполнение ОКР.

Annotation. The article discusses the issues of the correctness of setting the medium temperature or the case temperature in the reliability requirements for case semiconductor products. The experiment conducted in the framework of the article shows that it is more correct and objective to set the temperature of the housing, since at different ambient temperatures the temperature of the housing can be the same. The provisions given in the article can be used in the development of technical requirements for the implementation of the ROC.

Ключевые слова: электронная компонентная база, полупроводниковые приборы, безотказность, температура корпуса, температура среды.

Keywords: electronic component base, semiconductor devices, case temperature, ambient temperature.

Научная специальность: 2.2.2. Электронная компонентная база микро- и нанoeлектроники, квантовых устройств.

Введение

Одним из важных показателей, обуславливающих требования к надёжности, а именно безотказности, задаваемых в ТЗ на разработку электронной компонентной базы (далее – ЭКБ), является температура работы изделия в типовом режиме эксплуатации. Как правило, согласно ТЗ или ТУ на изделия, задается температура окружающей среды, при которой изделие должно выполнять свои функции в течении заданной гамма-процентной наработки до отказа T_{γ} . Но так ли подходит температура окружающей среды для корпусных тепловыделяющих изделий, для которых возможно, а зачастую и необходимо, применять дополнительные меры охлаждения, с целью обеспечить стабильный отвод тепла и более низкую температуру корпуса по сравнению с темпе-



Синельников Ю.Г.



Рыбаков А.К.



Денисова А.С.

ратурой корпуса достигаемой изделием при использовании без дополнительного охлаждения?

В связи с этим возникает вопрос корректности задания значения температуры окружающей среды для тепловы-

деляющих изделий: микросхем, транзисторов и диодов, так как при одинаковых температурах окружающей среды для различных систем охлаждения, возможна различная температура корпуса и, следовательно, р-п перехода.

Основная часть

Согласно стандартам, задающим технические условия на полупроводниковые приборы и интегральные микросхемы, можно выделить следующие положения:

- конкретное значение минимальной наработки и соответствующие ей допустимые значения температуры р-п перехода (кристалла) и электрического режима устанавливаются в ТЗ и ТУ на приборы конкретных типов. При этом значения допустимого электрического режима и максимальной температуры среды (корпуса) устанавливаются исходя из максимально допустимой температуры р-п перехода (кристалла) для прибора конкретного типа;
- для тепловыделяющих микросхем допускается устанавливать температуру корпуса, при этом температура р-п перехода не должна превышать 150 °С, если иное не установлено в ТЗ и ТУ;
- наработка до отказа в режимах и условиях эксплуатации при заданной температуре окружающей среды (температуре эксплуатации) и в облегченных режимах, которые приводятся в ТУ, должна быть не менее заданных значений;
- в ТЗ и ТУ рекомендуется задавать температуру окружающей среды;
- приведены положения о расчете коэффициента ускорения для температуры корпуса [1].

Исходя из сказанного выше становится ясно, что у полупроводниковых изделий и микросхем нет какого-то четкого требования к температуре, устанавливаемой для требований к безотказности. У микросхем это температура окружающей среды (температура эксплуатации) и в некоторых случаях температура корпуса, у полупроводниковых изделий - температура р-п перехода (кристалла). При этом, в тех же стандартах далее речь уже идет о температуре среды (корпуса). Некоторые стандарты хоть и рекомендуют только температуру окружающей среды, но не учитывают особенностей конкретной группы изделий.

Предположим, что для изделия в требованиях к безотказности задана температура окружающей среды 60 °С, при этом само изделие выделяет тепло и разогревается выше температуры окружающей среды, а температура его корпуса сильно превышает значение окружающей среды 60 °С и составит 80 °С. Но ведь применив дополнительное охлаждение для изделия можно понизить температуру его корпуса, а следовательно и температуру на кристалле, что позволит превысить температуру окружающей среды на какое-то значение без вреда для кристалла.

Согласно [2]: «Надёжность есть свойство объекта сохранять во времени в установленных пределах значения всех параметров, характеризующих способность объекта выполнять требуемые функции в заданных режимах и условиях применения, стратегиях технического обслужива-

ния, хранения и транспортирования».

Согласно [3]: «Надежность – способность изделия выполнять свои функции (безотказно работать) на уровне, не ниже, чем заданный, в течении определённого времени в определенных условиях и режимах».

Из сказанного выше получается так, что при заданной в ТУ или ТЗ температуре окружающей среды, а не температуре корпуса или кристалла и при применении метода дополнительного охлаждения можно выйти за пределы заданных режимов и условий применения, но при этом изделие продолжит оставаться работоспособным с уровнем надежности не ниже заданного без какого-либо вреда для себя.

Дополнительно стоит сказать, что согласно [4] одной из важных задач для повышения надёжности микросхем является преодоление трудностей, связанных с отводом тепла при конструировании схем с малыми габаритами и высокой степенью интеграции. Это означает, что вопрос стабильности температуры изделия является актуальным, а обеспечение стабильного температурного режима изделия напрямую влияет на надежность микросхем. Именно поэтому важно разобраться, температура окружающей среды или температура корпуса является более корректной при задании требований к безотказности.

Основные положения проведения исследовательских испытаний

С целью определения корректности установления значения температуры окружающей среды или значения температуры корпуса в требованиях к безотказности, были проведены исследовательские испытания.

На рис. 1 представлен испытательный стенд с тепловыделяющим транзистором, не имеющим контакта с радиатором испытательной установки.

Испытания были разделены на 3 эксперимента и заключались в измерении температуры корпуса трех групп транзисторов при одинаковой электрической нагрузке и температуре окружающей среды с применением радиатора или без него.

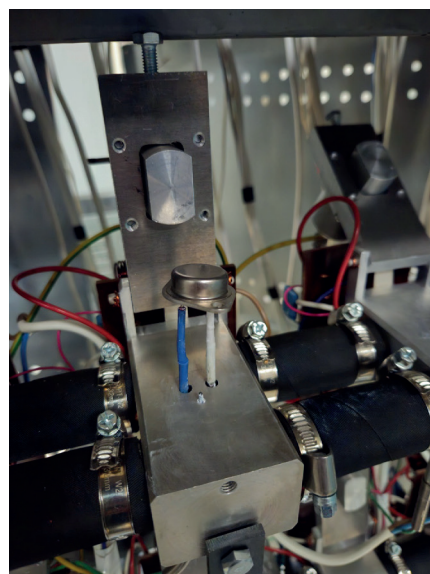


Рис. 1. Транзистор на установке

Эксперимент 1:

а) представители первой группы испытывались без применения мер дополнительного охлаждения (рис. 2 – транзистор не касается радиатора, измерение температуры проводится с помощью опирания датчика на основание транзистора) находясь при температуре окружающей среды 80 °С;

б) перед началом эксперимента измерили температуру корпуса транзистора, значение $t_{\text{корп}}$ составило 80 °С;

в) электрическая нагрузка была включена, и температура перегрева из-за прохождения электрического тока составила 27 °С.

Исходя из эксперимента 1 без применения дополнительных систем охлаждения температура корпуса транзистора составила 107 °С.

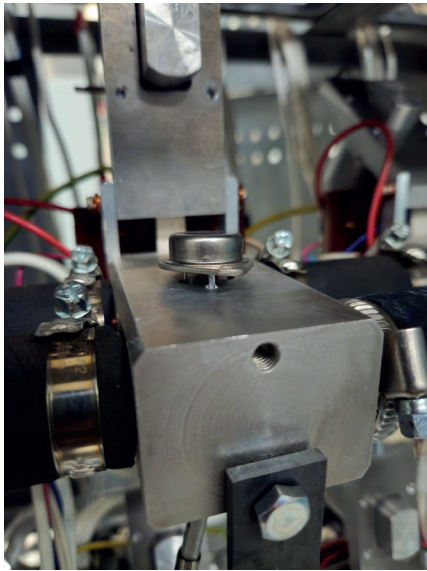


Рис. 2. Транзистор 1 группы испытаний

Эксперимент 2:

а) представители второй группы были установлены на радиаторы, между радиатором и транзистором нанесен слой термопасты (рис. 3-4), температура окружающей среды 80 °С, радиатор не имеет внешнего источника охлаждения, и его температура приравнивается к температуре окружающей среды 80 °С;

б) в начале эксперимента измерили температуру корпуса транзистора, значение $t_{\text{корп}}$ составило 80 °С;

в) включили электрическую нагрузку идентичную нагрузке при первом эксперименте, затем температура перегрева за счет протекания электрического тока составила 14 °С, такого понижения удалось добиться за счет эффективного отвода тепла от основания транзистора через радиатор, исходя из этого температура корпуса составила 94 °С.

На основании испытаний эксперимента 2 можно сделать вывод, что при электрической нагрузке и температуре окружающей среды идентичной условиям при первом эксперименте становится понятно, что при использовании пассивной системы охлаждения (радиатора), даже при температуре равной температуре среды удалось добиться снижения температуры корпуса на 13 °С.

Эксперимент 3:

а) представители третьей группы были установлены на радиаторы с внешним источником охлаждения, между радиатором и транзистором нанесен слой термопасты (рис. 3-5), температура радиатора стабилизирована на 70 °С;

б) перед началом эксперимента измерили температуру корпуса транзистора, значение $t_{\text{корп}}$ составило 70 °С;

в) включили электрическую нагрузку идентичную нагрузке при первом и втором экспериментах, после чего транзистор начал греться и процесс теплового равновесия наступил на температуре 79 °С.

Исходя из эксперимента 3 можно сделать вывод о том, что при электрической нагрузке и температуре окружающей среды идентичной условиям при первом и втором экспериментах за счет применения активного охлаждения удалось обеспечить значение температуры корпуса даже меньше, чем значение температуры окружающей среды, а применение активного охлаждения по сравнению с первым экспериментом, где не применялись дополнительные меры охлаждения, позволило снизить температуру корпуса транзистора $t_{\text{корп}}$ на 28 °С, а по сравнению со вторым позволило снизить температуру корпуса транзистора $t_{\text{корп}}$ на 15 °С.

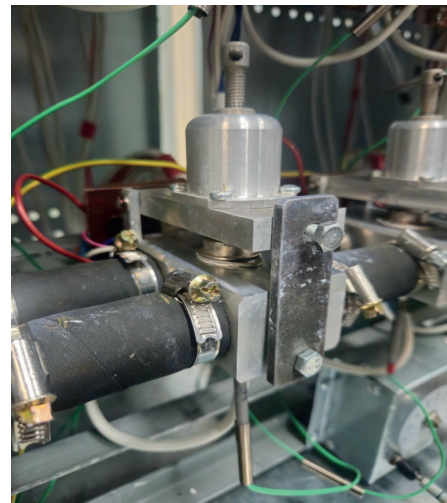


Рис. 3. Транзистор на монтажной площадке радиатора



Рис. 4. Испытательная установка



Рис. 5. Внешний охладитель радиатора

При проведении испытаний температура корпуса измерялась с помощью подпружиненного датчика температуры (рис. 6), находящегося в центре основания монтажной площадки транзистора под кристаллом, при проведении эксперимента 1, транзистор не имел контакта с монтажной площадкой, фиксация транзистора была осуществлена посредством его ножек, подпружиненный датчик температуры контактировал с центром основания транзистора.

В экспериментах 2 и 3 транзисторы были закреплены на монтажной площадке радиатора, между основанием транзистора и монтажной площадкой нанесена термопаста КПТ-8, подпружиненный датчик температуры аналогично эксперименту 1 контактировал с основанием транзистора, данный способ крепления обеспечивает измерение температуры в самом горячем месте транзистора – центре основания.

В ходе всех трех испытаний выполнялись замеры температуры корпуса, а не р-п перехода, так как для точного измерения температуры р-п перехода необходимо вскрывать корпус транзистора и применять специальное прецизионное оборудование, что несоразмерно повышает затраты на испытания.

Кроме того, в ходе внутренних исследовательских испытаний было подтверждено, что температура кристалла может быть различной в разных областях кристалла, что негативно скажется на данных эксперимента. При этом учитывая прямую зависимость температуры основания корпуса от интегральной температуры р-п перехода и, как правило, их незначительную разницу в самом эксперименте, отсутствует необходимость измерения именно температуры р-п перехода.

Дополнительно стоит отметить, что измерять температуру тепловыделяющего изделия корректно именно на центре основания, а не на центре крышки, так как крышка хоть и участвует в отведении тепла, но не имеет прямого контакта с кристаллом и температура на ней будет несколько отличаться от температуры основания, а разница температуры крышки и температуры р-п перехода будет уже более существенной.

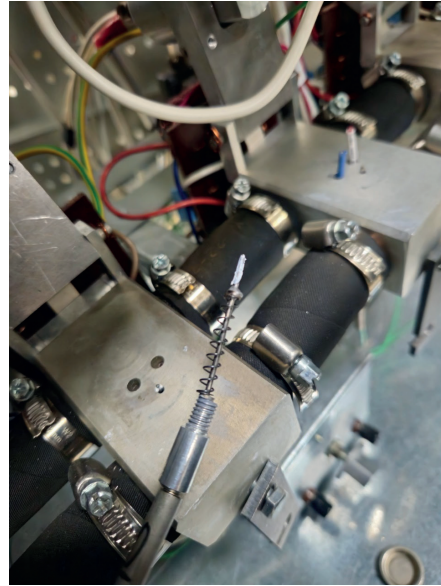


Рис. 6. Подпружиненный датчик температуры

Обработка и оценка результатов испытаний

Все три эксперимента продолжались в течение 1000 ч., изменение температуры корпуса транзистора варьировалось:

- в первом эксперименте от $(80 \pm 1)^\circ\text{C}$ до $(107 \pm 1)^\circ\text{C}$;
- во втором эксперименте от $(80 \pm 1)^\circ\text{C}$ до $(94 \pm 1)^\circ\text{C}$;
- в третьем эксперименте от $(70 \pm 1)^\circ\text{C}$ до $(79 \pm 1)^\circ\text{C}$.

Также изменение температуры окружающей среды в каждом эксперименте варьировалось в пределах $(80 \pm 1)^\circ\text{C}$.

Из всего вышеизложенного можно сделать вывод, что при одинаковой температуре окружающей среды применяя дополнительные меры охлаждения можно обеспечить разную температуру корпуса изделия. Следовательно, температура окружающей среды для задания требований к безотказности не является корректной для корпусных тепловыделяющих полупроводниковых приборов.

Заключение

Температура корпуса является важным показателем, который может использоваться для оценки надёжности электронных компонентов и систем. Корректное использование этого параметра позволяет принимать обоснованные решения, гарантирующие длительную и надёжную работу оборудования.

Корректное использование температуры корпуса в качестве условия к показателям надёжности позволяет:

- продлить срок службы оборудования: предотвращение чрезмерного нагрева, что может привести к преждевременному отказу компонентов;
- уменьшить риск сбоев: поддержание оптимальных температурных условий для обеспечения стабильной работы системы;
- обеспечить безотказность и соответствие нормативным требованиям: соблюдение отраслевых стандартов и норм, касающихся рабочих температур и требований безотказности;

Таким образом, для задания показателей безотказности микросхем и полупроводниковых приборов необходимо указывать температуру корпуса изделий, что позволит выполнять испытания по подтверждению требований к надёжности с большей точностью и, в свою очередь, обеспечит надёжность электронных компонентов и систем.

Литература

1. ГОСТ Р 57394-2017 «Микросхемы интегральные и приборы полупроводниковые. Методы ускоренных испытаний на безотказность».
2. ГОСТ Р 27.102-2021 «Надёжность в технике. Надёжность объекта. Термины и определения».
3. Перроте, А.И., Карташов, Г.Д., Цветаев, К.Н. Основы ускоренных испытаний радиоэлементов на надёжность [Текст] / Перроте А.И., Карташов Г.Д., Цветаев К.Н. - Москва: Советское радио, 1968 - 224 с.
4. Сыноров, В.Ф., Пивоварова, Р.П., Петров Б.К., Долматов Т.В. Физические основы надёжности интегральных схем [Текст] / Сыноров В.Ф., Пивоварова Р.П., Петров Б.К., Долматов Т.В. - Москва: Советское радио, 1976 - 320 с.

УДК: 621.3

СИСТЕМА УПРАВЛЕНИЯ НАДЕЖНОСТЬЮ НА СТАДИЯХ ЖИЗНЕННОГО ЦИКЛА ЭЛЕКТРОННОЙ КОМПОНЕНТНОЙ БАЗЫ

RELIABILITY MANAGEMENT SYSTEM AT STAGES OF THE LIFE CYCLE OF ELECTRONIC COMPONENT BASE

Дормидошина Д.А., заместитель генерального директора АО «ЦКБ «Дейтон»,
эксперт по стандартизации, +7 (925) 104-77-96, dormidoshina@deyton.ru

Dormidoshina D.A., deputy General Director of JSC «Central Design Office «Deyton»,
expert on standardization, +7 (925) 104-77-96, dormidoshina@deyton.ru

Аннотация. Надёжность является комплексным свойством электронной компонентной базы, которое в зависимости от назначения изделия и условий его применения может включать в себя безотказность, долговечность и сохраняемость. Надёжность электронной компонентной базы обеспечивается конструкцией изделия, качеством материалов, технологией изготовления и ее стабильностью, а также системой управления надёжностью. Надёжность электронной компонентной базы определяется результативностью, оперативностью и ресурсоемкостью ее обеспечения. По причинам малосерийности, высокой стоимости и уникальности отдельных образцов электронной компонентной базы, в условиях конкретной окружающей среды и ограниченного объема получаемой информации о случаях несоответствия изделия требованиям надёжности - отказах, дефектах, повреждениях и методах их предупреждения и устранения, возникают проблемы по причине усложнений схем взаимодействия элементов системы управления надёжностью.

Annotation. Reliability is a complex property of an electronic component base, which, depending on the purpose of the product and the conditions of its use, may include failure-free operation, durability and storage. The reliability of the electronic component base is ensured by the product design, quality of materials, manufacturing technology and its stability, as well as a reliability management system. The reliability of the electronic component base is determined by the effectiveness, efficiency and resource intensity of its provision. Due to the low-volume nature, high cost and uniqueness of individual samples of the electronic component base, in the conditions of a specific environment and the limited amount of information received about cases of product non-compliance with reliability requirements - failures, defects, damage and methods for their prevention and elimination, problems arise due to complications of interaction schemes elements of the reliability management system.

Ключевые слова: электронная компонентная база; система управления надёжностью; надёжность; стадии жизненного цикла изделия.

Keywords: electronic component base; reliability management system; reliability; product life cycle stages.

Научная специальность: 2.5.22. Управление качеством продукции. Стандартизация. Организация производства.

Введение

Надёжность электронной компонентной базы (далее – ЭКБ) определяется результативностью, оперативностью и ресурсоемкостью ее обеспечения. По причинам малосерийности, высокой стоимости и уникальности отдельных образцов ЭКБ, в условиях конкретной окружающей среды и ограниченного объема получаемой информации о случаях несоответствия изделия требованиям надёжности – отказах, дефектах, повреждениях (далее – отказы) и методах их предупреждения и устранения, возникают про-



Дормидошина Д.А.

блемы по причине усложнений схем взаимодействия элементов системы управления надежностью (далее – СУН). Путем устранения этих трудностей является разработка и исследование СУН и решение задач анализа и синтеза надежности ЭКБ (описан в ГОСТ Р 27.015 [1]) в условиях дефицита информации о состоянии ее элементов. Базовым для решения этих задач является экономический фактор, выступающий в качестве значительного ограничителя при оптимизации и повышении показателей надежности [2].

Решение этих задач требует углубленного и квалифицированного подхода к проектированию и расчету надежности ЭКБ на основе научно-технических исследований и развития аспектов обеспечения надежности ЭКБ. Современные методы оценки и обеспечения надежности позволяют реализовать их в оптимальные проектные и организационные решения на различных стадиях жизненного цикла ЭКБ.

Основная часть

Научно-технические исследования и развитие аспектов обеспечения надежности ЭКБ

Особенностью развития аспектов обеспечения надежности ЭКБ является ее актуальность на всех стадиях жизненного цикла изделия – от формирования и обоснования потребности в создании изделия и до принятия решения об утилизации ЭКБ.

Вначале создания ЭКБ определяются и задаются параметры ее надежности. С точки зрения надежности, ЭКБ должна быть определена требованиями к функционированию и заданным условиям эксплуатации. На этом этапе выполняется четкое определение требований в области надежности для изделия с учетом планируемых условий его эксплуатации. Такая работа должна выполняться как на уровне изделия в целом, так и детализироваться до уровня комплектующих его элементов. Конкретизация требований к надежности изделия позволяет определить круг возможных решений и необходимых исследований: на основе исследования информации, поступающей от потенциальных заказчиков и исследования информации о работе аналогичных изделий. Требования к надежности изделия должны быть сопоставимы с требованиями к конструкции изделия и с применяемыми (планируемыми к применению) технологиями изготовления изделия. Сопоставление требований к надежности изделия на предмет непротиворечивости друг другу позволяет минимизировать риски, связанные с не достижением запланированных результатов, такими как ожидания заказчиков, реализуемые функциональные возможности и физические характеристики изделия.

Значительным фактором в обеспечении надёжности является степень новизны разрабатываемого изделия. Отличия изделия от прототипа или отсутствие прототипа (разработка абсолютно нового изделия) определяют содержание аспектов обеспечения надежности.

Надежность ЭКБ на этапе проектирования

На этапе проектирования изделия закладывается надежность ЭКБ. При проведении необходимых расчетов и моделирования, надежность зависит от обоснованности

выбора необходимых параметров, сопротивляемости физическим процессам, используемых материалов, методов защиты от внешних воздействий, особенностей применения. В ходе разработки изделия анализ и оптимизация показателей его надежности позволят найти компромисс между требованиями к надежности и затратами, необходимыми на их обеспечение. Результатом этих действий является уточнение концепции изделия.

На этапе проектирования должны выявляться ключевые элементы с точки зрения их влияния на уровень надежности изделия. Должны быть сформированы методические документы по сокращению рисков в области надежности, применены приемы унификации, использованы стандартные альтернативы с подтвержденным уровнем надежности. Ключевым инструментом, применяемым на этапе разработки изделия, является анализ видов [3] и последствий отказов, который позволит идентифицировать возможные виды отказов для ЭКБ, а также выполнить качественную оценку возможности возникновения различных режимов возникновения отказов и рисков от их последствий. Это позволит разработать программу корректирующих мероприятий, ориентированных на предупреждение наиболее опасных и проблемных потенциальных отказов.

Выполнение расчетов и прогнозных оценок надежности изделия и моделирование позволят оценить успех разработки, даже если это грубая и предварительная оценка, выполняемая на ранних стадиях проектирования. Расчеты и моделирование могут выполняться как на базе информации об аналогичных ЭКБ, так и путем экспертной оценки. Комплексное применение математического аппарата средств автоматизации расчетов надежности, стандартных библиотек с параметрами надежности комплектующих элементов изделия, методов имитационного моделирования, использование данных изготовителей ЭКБ позволит быстро и точно выполнить множество альтернативных прогнозных расчетов параметров надежности разрабатываемого изделия, учитывающих различные требования и варианты его применения.

Количественную оценку надежности ЭКБ на этапе проектирования необходимо проводить с учетом данных об измерениях и испытаниях элементов, комплектующих изделие для различных условий эксплуатации. Исследования на этом этапе представляют собой ряд итераций, оценивающих результаты измерений и испытаний. После проведенного анализа необходимо выполнить соответствующие изменения в изделии. Проведение анализов повторяется до получения заданных значений. При этом используются:

- анализ результатов ускоренного испытания образцов ЭКБ с целью выявления возможных отказов, изучения их природы, уточнения оценки их интенсивности;
- анализ видов, последствий и критичности отказов, выполняемый для количественного анализа отказов, а также позволяющий разрабатывать программу испытания изделия, ориентированную на выявление проблемных зон или режимов возник-

новения отказов. Результаты анализа инициируют конструкторские изменения, улучшающие изделие;

- анализ деревьев отказа, выполняемый по результатам анализа видов, последствий и критичности отказов и позволяющий отработать комбинации событий, которые приводят к возникновению отказов;
- анализ отказов по RBD (Reliability block diagram methods), используемый для моделирования и расчета надежности изделия путем оптимизации параметров резервирования его комплектующих элементов. При этом определяются слабые места изделия, находятся оптимальные схемы функционирования элементов, сравниваются возможные решения для изделия в целом, обеспечивающие требуемый уровень его надежности, производится расчет показателей надежности.

Анализ надежности на этапе проектирования ЭКБ должен продолжаться до тех пор, пока не появится результат, признаваемый приемлемым. Подтверждением положительных результатов анализа надежности при разработке изделия является успешное выполнение серии испытаний, выполняемых на опытном образце.

Надежность ЭКБ на этапе изготовления

При изготовлении ЭКБ обеспечиваются заложенные показатели надёжности. На этом этапе надежность зависит от качества элементов, комплектующих изделие и материалов, технологий изготовления, методов контроля выпускаемой продукции, методов управления технологическими процессами изготовления, качества сборки, выполнения в полном объеме измерений и испытаний изделий по параметрам надежности и от других производственных факторов.

Исследования надежности изделия на стадии изготовления решают следующие основные задачи:

- изучение влияния на надежность изделия производственных процессов. Производится сокращение, устранение и предотвращение проблем, влияющих на надежность и связанных с естественными вариациями производственного процесса, такими как различие используемых материалов, различие процессов на разных производственных площадках, влияние человеческого фактора, разные уровни чистоты производственных площадок;
- изучение надежности элементов, комплектующих изделие и работа с поставщиками.

На базе поступающих эксплуатационных данных по надежности ЭКБ процессы изготовления изделий должны постоянно совершенствоваться с учетом вновь открывающихся факторов. Оперативность принятия решений о разработке и внедрении конструкторских и технологических изменений должна быть максимальной. Выбираемые решения должны основываться на уже проработанных и подтвердивших свою эффективность возможностях, позволяющих вносить минимальные изменения в общий производственный процесс.

Надежность ЭКБ на этапе эксплуатации

При применении и эксплуатации ЭКБ реализуется определенная, заложенная и обеспеченная надёжность. Такие ее свойства, как наработка до отказа и долговечность проявляются только на этапах применения и эксплуатации и зависят от принятых способов обеспечения надежности, ремонта и модернизации радиоэлектронной аппаратуры (далее – РЭА), условий и режимов работы и других эксплуатационных факторов.

В процессе эксплуатации ЭКБ, под влиянием большого числа факторов, происходят изменения свойств, определяющих надежность изделий. Научно-технические исследования позволяют получить закономерности этих изменений и разработать методы получения необходимого ресурса и безотказности работы изделия при минимальных трудовых и материальных затратах в развитие аспектов обеспечения надежности ЭКБ.

На этапе эксплуатации ЭКБ основной задачей изготовителя является сокращение числа отказов, возникающих у потребителя. Появление отказов практически неизбежно по причине высокой сложности ЭКБ, а также относительно сжатых сроков разработки и вывода изделий в серию. Реальным способом сокращения количества отказов является организация постоянного мониторинга и анализа эксплуатационных данных, подкрепляемых выстраиванием эффективного процесса выработки и внедрения корректирующих действий, позволяющих не просто отработать возникающие отказы, но и определить причину их возникновения и выработать меры по предупреждению их повторного появления.

Признанной методологией, предназначенной для решения этой задачи, является FRACAS (Failure Reporting, Analysis and Corrective Action Systems – система отчетности, анализа и выработки корректирующих действий по отказам), описанная в ГОСТ Р 51901.5 [4]. Автоматизированные решения, реализующие методологию FRACAS, позволяют собирать и обрабатывать исходные данные по эксплуатационным отказам, выполнять комплексный анализ, ориентированный на выявление успешных способов устранения отказов, а также обеспечивают повторное использование накопленных знаний не только на текущем этапе изготовления изделий, но и на всех этапах разработки и эксплуатации изделий.

В решении задач сокращения объема отказов особое место занимает выявление негативных отклонений в производственных процессах, которые должны решаться способами мониторинга и контроля, совместно специалистами по надежности и производственными технологами для определения граничных условий, обеспечивающих выпуск изделий с высокими характеристиками надежности. Для решения таких задач необходимо использовать метод статистического контроля процессов (SPC – Statistical Process Control), описанный в ГОСТ Р ИСО 11462-1 [5].

Для выполнения задач обеспечения надежности необходимо использовать системы автоматизированной обработки данных, соответствующие следующим критериям [6]:

- максимальная функциональная насыщенность, позволяющая удовлетворить не только текущие, но и перспективные задачи специалистов, участвующих в разработке и улучшении изделий, а также в их изготовлении и эксплуатации;
- наличие встроенных возможностей методической поддержки, такой как расчетные методы и расширяемые библиотеки комплектующих элементов;
- интеграция с системами информационной поддержки жизненного цикла изделий – PLM (Product Lifecycle Management system).

Результатами внедрения систем автоматизированной обработки данных для обеспечения надежности ЭКБ являются повышение оперативности и достоверности информации на этапах решения следующих задач:

- определение оптимального срока службы и ожидаемых затрат на его обеспечение;
- определение сроков и методов обслуживания изделий в составе РЭА;
- оптимизация требований, состава и потребностей в поставке материалов и комплектующих элементов, для сокращения объемов хранимых запасов, и повышение точности производственного планирования;
- улучшение программ разработки и производства изделий на базе внедрения инструментов систематического анализа типов и причин возникновения отказов;
- снижение затрат, связанных с устранением последствий отказов, за счет улучшения возможностей их прогнозирования и ранней подготовки к ним;
- проектирование, основанное на надежности, с использованием базы знаний, позволяющее уже на ранних стадиях разработки выбирать решения, наиболее оптимальные с точки зрения соотношения «достижимая надежность/необходимые затраты»;
- расширение возможностей по изучению и детализированному анализу возможных видов отказов, в том числе зависимых, скрытых, конструктивных, производственных, эксплуатационных и деградационных;
- расширение возможностей по моделированию состава элементов в изделии под заданную надежность с учетом их резервирования;
- сокращение и устранение отказных ситуаций начальных периодов эксплуатации новых изделий для повышения степени удовлетворенности потребителей и как следствие имиджа изготовителя;
- оптимизация значений проектных параметров надежности за счет возможности выбора оптимальных конструкций с другими характеристиками;
- переход на проектирование изделий с заданным уровнем надежности под заданный уровень стоимости жизненного цикла.

Заключение

Надёжность ЭКБ непосредственным образом связана со всеми стадиями жизненного цикла. Для решения задач обеспечения надежности используются различные направления научно-технических исследований и развития аспектов обеспечения надежности ЭКБ существенно отличающие ее от другой продукции. Эти отличия в:

- закономерности изменения начальных параметров ЭКБ;
- закономерности изменения количества отказов во времени;
- прогнозировании уровня работоспособности ЭКБ при сохранении ее параметров, осуществляемое в зависимости от реальных условий эксплуатации;
- существенных временных и материальных затратах на поиск причин отказов.

Для достижения показателей надежности необходимо знать причины отказов, их возникновения и проявления, закономерности изменения технического состояния изделия, а также влияние, которое оказывают внешние факторы на его работоспособность. В качестве таких причин могут быть нарушение норм: разработки; изготовления; применения и эксплуатации. Выявление неблагоприятных воздействий случайных внешних факторов, случайных физических процессов воздействия на изделие, установление зависимостей параметров изделия от режимов его работы, факторов внешней среды позволяют управлять надежностью, снижать интенсивность отказов.

Обеспечение необходимых показателей надежности ЭКБ должны базироваться на достоверной информации о: ее отказах; фактических ресурсах; методах и результатах измерения, испытания, входного контроля; факторах, влияющих на эти показатели в реальных условиях эксплуатации.

Для получения достоверных результатов должны быть рассмотрены все возможные воздействия на изделие со стороны: внешних условий, технических средств, программного обеспечения, человеческого фактора; организационных действий.

Развивать аспекты обеспечения надежности ЭКБ позволяет техническая диагностика РЭА. Она обосновывает методы и средства периодической проверки надежности и работоспособности ЭКБ в составе РЭА, также позволяет оценивать соответствие параметров технического состояния их нормативным значениям и выявлять потребность в выполнении необходимых операций технического обслуживания и ремонта РЭА. Диагностика является более качественной формой обеспечения надежности ЭКБ на стадии эксплуатации, так как позволяет определять техническое состояние РЭА без ее разборки и прогнозировать запас исправной работы как в целом РЭА, так и ЭКБ в ее составе.

Наиболее объективную и исчерпывающую информацию при проведении научно-технических исследований и развитии аспектов обеспечения надежности ЭКБ дают результаты сбора и анализа информации, позволяющие оценить уровень фактической надежности изделия, выявить слабые места в технологиях проектирования, изготовле-

ния, нормах применения и эксплуатации, разработать конкретные мероприятия по обеспечению надежности ЭКБ [7]. Время сбора и анализа информации о надежности ЭКБ должно быть оптимальным и достаточным, а результаты исследований строго выверяться и обосновываться, прежде чем они будут использованы.

Научно-технические исследования и развитие аспектов обеспечения надежности ЭКБ выполняют организации, независимо от ведомственной принадлежности и формы собственности, осуществляющие деятельность на стадиях жизненного цикла изделия: заказывающие, проектирующие, разрабатывающие, изготавливающие, испытывающие, исследующие, поставляющие, транспортирующие, применяющие, обслуживающие, ремонтирующие или утилизирующие изделие.

Результаты научно-технических исследований и развития аспектов обеспечения надежности ЭКБ подлежат публикации для использования предприятиями в извещениях, информационных бюллетенях и других информационных документах. Сбор результатов научно-технических исследований и развития аспектов обеспечения надежности ЭКБ должен проводиться специализированной организацией в области обеспечения надежности ЭКБ систематически, а также обобщаться, анализироваться и доводиться до предприятий.

Литература

1. ГОСТ Р 27.015-2019 (МЭК 60300-3-15:2019) «Надежность в технике. Управление надежностью. Руководство по проектированию надежности систем».
2. Качество и надежность электронной компонентной базы ЭВМ специального назначения: учебное пособие // Иевлев, В.И. Филиппов Г.А. – Екатеринбург: УрФУ, 2013. – 102 с.
3. ГОСТ Р 27.303-2021 «Надежность в технике. Анализ видов и последствий отказов».
4. ГОСТ Р 51901.5-2005 (МЭК 60300-3-1:2003) «Менеджмент риска. Руководство по применению методов анализа надежности».
5. ГОСТ Р ИСО 11462-1-2007 «Статистические методы. Руководство по внедрению статистического управления процессами. Часть 1. Элементы».
6. Слагаемые надежности - [Электронный ресурс]: URL: <https://www.osp.ru/cio/2014/04/13040802> (дата обращения: 28.07.2024).
7. Информационное обеспечение программ обеспечения надежности – [Электронный ресурс]: URL: <https://poznayka.org/s61633t1.html> (дата обращения: 01.08.2024).

Уважаемые читатели! Открыта подписка на научно-технический журнал «Радиоэлектронная отрасль: проблемы и их решения»

Учредители научно-технического журнала ждут Ваших обращений по адресам:



ВНИИР

ВСЕРОССИЙСКИЙ НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ
ИНСТИТУТ РАДИОЭЛЕКТРОНИКИ

141002, Московская область, г.о. Мытищи,
г. Мытищи, ул. Колпакова, д. 2А
+7 (495) 586-17-21 доб. 1434, 1404;
e-mail: vniir@vniir-m.ru, сайт: vniir-m.ru



АНО «ЦЕНТР СЕРТИФИКАЦИИ, ОБУЧЕНИЯ И КОНСАЛТИНГА
«ЭЛЕКТРОНСЕРТИФИКА»

141008, Московская область, г.о. Мытищи,
г. Мытищи, ул. Колпакова, д. 2А
+7 (495) 586-17-21 доб. 1434, 1404;
e-mail: vniir@vniir-m.ru, сайт: vniir-m.ru



О межотраслевой научно-практической конференции «Современные технологии в России сегодня – это технологический суверенитет завтра»

22 августа 2024 г. в Нижнем Новгороде прошла межотраслевая научно-практическая конференция: «Современные технологии в России сегодня – это технологический суверенитет завтра».

Организатором и модератором конференции выступил технопарк ЭРКОН при поддержке Правительства Нижегородской области.

В работе конференции приняли участие более 70 экспертов из ключевых отраслей российской экономики, представители ведущих предприятий радиоэлектронной и смежных областей, руководители и специалисты госкорпораций, а также разработчики и изготовители электронной компонентной базы.

В ходе работы конференции были проведены мероприятия, включающие стратегические сессии, открытые диалоги, демонстрацию производственных площадок.

С приветствием и вступительным словом выступили руководство и представители технопарка ЭРКОН. В своем обращении они рассказали о целях создания промышленного технопарка ЭРКОН, мерах поддержки и принципах работы с резидентами, поделилась ценным опытом взаимодействия с предприятиями.

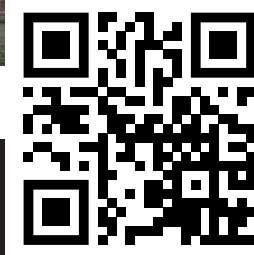
«Наши усилия направлены на то, чтобы упростить работу российских предпринимателей и промышленников. Мы поддерживаем повестку государства, нацеленную на обеспечение отрасли отечественными импортозамещающими продуктами и делаем ставку на содружество российских компаний и технологий. Такой подход может стать залогом технологического лидерства. На территории технопарка ЭРКОН сегодня формируется инфраструктура, которая поможет запускать проекты быстро и снижать затраты компаний на строительство собственных помещений.

Это позволит компаниям сфокусироваться на выпуске продукции и разработке новых решений. На базе технопарка можно входить в коммуникацию со специализированными отраслевыми производствами, а заказчик и производитель смогут в связке работать над конкретными проектами».

Также на открытии мероприятия выступил заместитель Министра промышленности, торговли и предпринимательства Нижегородской области Владимир Балакин. Он рассказал о мерах государственного стимулирования и поддержки отрасли, а также о задачах по развитию электронной промышленности в регионе на основе высокотехнологичных и инновационных кластеров.

Докладчиками конференции были представлены новинки ЭКБ для автомобильного, железнодорожного транспорта и авиационной техники, продемонстрированы возможности технопарка по дистрибуции радиоэлектронных компонентов – как штучных заказов, выполненных по специализированному ТЗ, до крупных сборных партий от нескольких заказчиков, позволяющих существенно снизить цену предлагаемой продукции.

В докладах спикеров конференции было отражено, что текущая ситуация обострила понимание необходимости модернизировать инфраструктуру российских производств, нарастить технологические мощности в реализации программы импортозамещения. Участники конференции высказали свое видение и пути развития региона на основе высокотехнологичных кластеров, а также поблагодарили организаторов за насыщенную и плодотворную программу, конструктивный диалог и высокий профессиональный уровень мероприятия.



Связаться с нами:

8 (800) 456-33-22

г. Нижний Новгород,
ул. Нартова, д.6
e-mail: info@erkonpark.ru

erkonpark.ru

Система добровольной сертификации радиоэлектронной аппаратуры, электронной компонентной базы и материалов военного, двойного и народнохозяйственного назначения «Электронсерт»
(рег. № РОСС.RU.B2618.04КМНО от 07.04.2022 г.)



АНО «ЦЕНТР СЕРТИФИКАЦИИ, ОБУЧЕНИЯ И КОНСАЛТИНГА «ЭЛЕКТРОНСЕРТИФИКА»



СЕРТИФИКАЦИЯ СИСТЕМ МЕНЕДЖМЕНТА КАЧЕСТВА

- ПРЕДПРИЯТИЙ И ОРГАНИЗАЦИЙ РАЗРАБОТЧИКОВ ЭКБ И РЭА
- ПРЕДПРИЯТИЙ И ОРГАНИЗАЦИЙ ИЗГОТОВИТЕЛЕЙ ЭКБ И РЭА
- ПРЕДПРИЯТИЙ И ОРГАНИЗАЦИЙ ПОСТАВЩИКОВ ЭКБ И РЭА



МЕТОДИЧЕСКИЕ УСЛУГИ

- СИСТЕМЫ МЕНЕДЖМЕНТА КАЧЕСТВА ПРЕДПРИЯТИЙ-РАЗРАБОТЧИКОВ, ИЗГОТОВИТЕЛЕЙ ЭКБ
- СИСТЕМЫ МЕНЕДЖМЕНТА КАЧЕСТВА ПОСТАВЩИКОВ ЭКБ
- СИСТЕМЫ КАЧЕСТВА ИСПЫТАТЕЛЬНЫХ ЛАБОРАТОРИЙ (ЦЕНТРОВ)



ОБУЧЕНИЕ СПЕЦИАЛИСТОВ

- СИСТЕМЫ МЕНЕДЖМЕНТА КАЧЕСТВА ПРЕДПРИЯТИЙ И ОРГАНИЗАЦИИ
- ТЕХНОЛОГИЯ ПРОВЕДЕНИЯ ИСПЫТАНИЙ ЭКБ В ИСПЫТАТЕЛЬНЫХ ЛАБОРАТОРИЯХ (ЦЕНТРАХ)
- МЕТРОЛОГИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ РАЗРАБОТКИ И ИСПЫТАНИЙ ЭКБ И РЭА
- ПРИМЕНЕНИЕ ЭКБ ОТЕЧЕСТВЕННОГО И ИНОСТРАННОГО ПРОИЗВОДСТВА



141008, Московская область, г. Мытищи, ул. Матросова, д. 8, 2-й этаж, офис 9 и 19
+7 (495) 055-05-99, e-mail: elsert@bk.ru, сайт: elsert.ru



ВНИИР
ВСЕРОССИЙСКИЙ НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ
ИНСТИТУТ РАДИОЭЛЕКТРОНИКИ

ИСПЫТАТЕЛЬНЫЙ ЦЕНТР

Главная научно-исследовательская испытательная организация Минпромторга России в области ЭКБ, научного обеспечения и межведомственной методической координации работ по созданию и проведению исследований (испытаний) изделий электронной компонентной базы

Лаборатория	МЕХАНИЧЕСКИХ ИСПЫТАНИЙ	15 видов испытаний, 7 ед. испытательного оборудования, 22 ед. средств измерений
Лаборатория	КЛИМАТИЧЕСКИХ ИСПЫТАНИЙ	27 видов испытаний, 22 ед. испытательного оборудования, 21 ед. средств измерений
Лаборатория	ФУНКЦИОНАЛЬНОГО КОНТРОЛЯ	17 Видов испытаний, 19 ед. испытательного оборудования, 72 ед. средств измерений
Лаборатория	ДИАГНОСТИЧЕСКОГО НЕРАЗРУШАЮЩЕГО КОНТРОЛЯ И РАЗРУШАЮЩЕГО ФИЗИЧЕСКОГО АНАЛИЗА	30 видов испытаний

ИЦ аккредитован на проведение **89** видов испытаний ЭКБ и РЭА

Уникальные виды испытаний:

- определение отсутствия признаков контрафактного происхождения ЭКБ;
- диагностический неразрушающий контроль (акустический и рентгеновский);
- испытания на электромагнитную совместимость;
- воздействие плесневых грибов;
- воздействие факторов резко континентального характера.

ИЦ располагает **52** единицами аттестованного испытательного оборудования,
216 единицами поверенных средств измерений и квалифицированным персоналом



141002, Московская область, г.о. Мытищи, г. Мытищи, ул. Колпакова, д. 2А
+7 (495) 586-17-21 доб. 1434; 1404; e-mail: vniiir@vniiir-m.ru, сайт: vniiir-m.ru